

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL Y  
COMUNICACIONES**

**INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO DE  
ARROYO DE LA LUZ**

**Autor: Carmelo Cascón Gómez**

**Tutor: Dr. Iván González Díaz**

**2015**

Título: MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO DE ARROYO DE LA  
LUZ

Autor: Carmelo Cascón Gómez

Director: Iván González Díaz

EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_  
de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de  
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

## Resumen

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el ruido se ha venido considerando como una amenaza menor para los problemas de salud de las personas. Sin embargo, los estudios llevados a cabo durante los últimos años ponen de manifiesto la correlación entre la exposición al ruido y sus efectos nocivos sobre la salud humana a corto y largo plazo.

El ruido se ha convertido en una fuente de contaminación ambiental y cada vez más personas empiezan a quejarse de las molestias que éste provoca. Como ejemplo, la OMS recomienda unos niveles de inmisión inferiores a 30 dB con ponderación A (dBA) en los dormitorios para conseguir un sueño de calidad (OMS, 1999). Esto contrasta con el 30% de los habitantes de la UE que están sometidos a niveles que sobrepasan los 55 dBA durante la noche.

La mayoría de los estudios realizados apuntan al tráfico rodado como la principal fuente de ruido. En situaciones puntuales las molestias provocadas por el ruido proceden de zonas de ocio, paso de ferrocarriles, cercanía de aeropuertos, zonas industriales, etc. Todas estas fuentes de ruido y los problemas de salud asociados a ellas han generado una creciente preocupación por parte de las autoridades europeas. Se ha propuesto, por tanto, reducir los niveles de contaminación acústica dentro de la Unión.

Uno de los pasos necesarios para llevar a cabo esta tarea es conocer la situación acústica real (o la más aproximada posible) de las distintas ciudades europeas. Por ello, la creación de Mapas de Ruido y/o Mapas de Ruido Estratégicos (MER) de las ciudades se ha convertido en una prioridad. En la Directiva Europea de 2002 (2002/49/CE) se establecen las bases para la armonización, métodos de cálculos y evaluación y requisitos mínimos de los MER.

El presente Proyecto Fin de Carrera pretende mostrar el estado del arte de la realización de los MER, los distintos documentos legislativos que intervienen en su elaboración, los distintos tipos de muestreo espacial existentes en la actualidad y la realización efectiva del mapa estratégico de ruido de la localidad de Arroyo de la Luz (Cáceres).

*Palabras clave:* Mapa estratégico de ruido, CadnaA, muestreo espacial, muestreo temporal

## **Abstract**

Noise has been considered as a minor threat to the human health according to the World Health Organization (WHO). However, conducted researches during last years bring to the fore the existing correlation between noise exposure and its negative effects on human health both short and long term.

Noise has become a source of environmental pollution and more and more people are starting to complain about the nuisances it provokes. As an example, WHO recommends immission levels lower than 30 dBA inside bedrooms in order to achieve a quality sleep time (OMS, 1999). This contrasts with 30% of EU inhabitants suffering levels above 55 dBA during night.

Most studies refer to road traffic as the main noise source. Nuisance provoked by noise come in specific situations from leisure areas, railway passages, close airports, industrial areas, etc. All these noise sources and its associated health problems have created a growing concern from European authorities. Thus, reducing acoustical pollution within the European Union has been proposed.

One necessary step in order to achieve this task requires knowing the real acoustical situation (or the closest to this) in the European cities. Hence, the creation of Noise Maps or Strategic Noise Maps of cities has become a priority. The Environmental Noise Directive (2002/49/CE) is the norm by which basis for harmonization, calculating and evaluating methods and minimum requirements for Strategic Noise Maps are established.

This Bachelor Thesis pretends to show the state of the art in developing noise mapping, legislative documentation related to its elaboration, different spatial sampling currently used and the effective realization of the Strategic Noise Map of Arroyo de la Luz (Cáceres).

*Keywords:* Strategic noise map, CadnaA, spatial sampling, temporal sampling



## Agradecimientos

Son muchas las personas que han colaborado de manera directa o indirecta en la realización de este proyecto. En primer lugar, quiero agradecer la ayuda y apoyo del tutor de mi proyecto en la Universidad, Iván González, y de mi tutor en la empresa, Miguel Ángel Gómez, por sus constantes apoyos e indicaciones.

Gracias al Dr. Juan Miguel Barrigón, de la Universidad de Extremadura, por compartir sus conocimientos y permitir acceso a publicaciones. Gracias a Miguel Mellado por ayudarme con sus extensísimos conocimientos de CadnaA y de Arroyo de la Luz. Gracias a David Guzmán por ayudarme con la planificación de las medidas. Gracias a Balamero Vinagre y a José Miguel Campos por acompañarme en la realización de algunas mediciones. Gracias a Miguel Salguero por su ayuda constante. Gracias a Alberto Hernández y a Pablo Beneitez, de CECOR, por su ayuda en todo momento.

Los compañeros y amigos de ITT en Cáceres siempre han estado presentes y su apoyo ha sido fundamental. Ellos son Laura, Rosa, Leonor, Juanma, Miguel y otros muchos. Entre ellos quiero destacar a Juanfran, porque fuimos los únicos de nuestra promoción en Cáceres que nos atrevimos a dar el salto a la Universidad Carlos III, donde el apoyo mutuo, las interminables horas de prácticas y las comidas de cafetería fueron parte de la experiencia habitual.

Quisiera agradecer además el apoyo de los compañeros de la carrera en Madrid, entre los que destacan los compañeros de la residencia Fernando Abril Martorell, por esos dos años irrepetibles y llenos de experiencias inolvidables. Solo de *Teleco* estaban Chete, Bordallo, Chema, Duarte, Isma, etc., que cuando no estábamos estudiando igual nos entreteníamos jugando una interminable y polémica *pocha*. Entre los *no telecos* están Linares, Mogarro, Alvarito, Fran, Jarillo, Gonso, Suco, Fol, Jash, Nacho y un largo etcétera.

La gente que he conocido en BEST Carlos III también ha sido muy importante para mí: Álber, Irene, Jorge, Ruth, Elena, Gema y otros muchos. Mención aparte requiere Diego Escalada, por estar ahí siempre, en especial en los momentos más difíciles, y por el apoyo recibido durante todos estos años que nunca olvidaré.

Un agradecimiento a los amigos de siempre de Cáceres: Baldo, Juanpe, José Carlos, Ányel, Antonio... Ellos han estado siempre, desde antes de empezar la carrera, y ahí siguen aguantándome como pueden (y espero que por muchos años más).

Y, por último, el agradecimiento más importante va dirigido a mis padres y a mi hermano, por el apoyo y el cariño constante y por permitirme la oportunidad de tener estos estudios. Todo lo positivo que tengo en esta vida es gracias a ellos.

# Índice de contenidos

<b>1. Introducción y justificación .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Estructura del documento.....</b>	<b>13</b>
<b>4. Marco teórico .....</b>	<b>14</b>
4.1. Marco legislativo.....	14
4.2. Definiciones generales .....	15
4.3. Definición de Mapa de Ruido .....	16
4.4. Indicadores de ruido y su aplicación .....	17
4.4.1. Definición del nivel día-tarde-noche, $L_{den}$ .....	17
4.4.2. Definición del indicador de ruido en periodo nocturno, $L_{night}$ .....	18
4.4.3. Índices de ruido suplementarios.....	18
4.5. Métodos de evaluación para los indicadores de ruido .....	19
4.5.1. Métodos de cálculo del $L_{den}$ y $L_{night}$ .....	19
4.5.2. Métodos de medición del $L_{den}$ y $L_{night}$ .....	20
4.6. Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido .....	20
4.7. Equipo de medición utilizado .....	21
4.8. Software utilizado .....	25
4.9. Elaboración de un mapa de ruido .....	30
4.9.1. Realización de las mediciones .....	31
4.9.2. Software de modelización .....	41
<b>5. Desarrollo del mapa de ruido .....</b>	<b>44</b>
5.1. Fases de desarrollo .....	44
5.2. Descripción de la zona de estudio.....	44
5.3. Mediciones realizadas .....	47
5.3.1. Muestreo espacial .....	47
5.3.2. Muestreo temporal .....	53
5.3.3. Niveles de ruido obtenidos ( $L_{Aeq}$ ) .....	58
5.4. Método de cálculo .....	61
5.4.1. Datos de entrada .....	61
5.4.2. Configuración .....	70
5.5. Validación del modelo .....	70
5.5.1. Procedimiento seguido para la validación del modelo: tráfico rodado ..	71
5.5.2. Resultado de la validación .....	73
5.5.3. Valores de incumplimiento como resultado de la validación .....	77
5.6. Resultado del modelo .....	80
5.6.1. Población afectada.....	80
5.6.2. Edificios sensibles .....	85
5.6.3. Mapas.....	87
5.7. Propuesta preliminar de Plan de Acción.....	90
<b>6. Discusión .....</b>	<b>92</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>8. Líneas de investigación futuras .....</b>	<b>95</b>
<b>9. Presupuesto .....</b>	<b>96</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>98</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>100</b>

<b>11.1.</b>	<b>Anexo I: Ordenanza Municipal de Arroyo de la Luz (2005) en lo referente a perturbaciones por ruido y vibraciones. ....</b>	<b>101</b>
<b>11.2.</b>	<b>Anexo II: Requisitos mínimos de los planes de acción (Anexo V del Real Decreto 1513/2005) .....</b>	<b>105</b>
<b>11.3.</b>	<b>Anexo III: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE <math>L_D</math>.....</b>	<b>106</b>
<b>11.4.</b>	<b>Anexo IV: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE <math>L_E</math>.....</b>	<b>107</b>
<b>11.5.</b>	<b>Anexo V: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE <math>L_N</math>. ....</b>	<b>108</b>
<b>11.6.</b>	<b>Anexo VI: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE <math>L_{DEN}</math>.....</b>	<b>109</b>

# Índice de figuras

Figura 1. Horario de los periodos temporales de evaluación. ....	18
Figura 2. Sonómetro Cesva SC 310. ....	22
Figura 3. Sonómetro Brüel & Kjær 2250. ....	22
Figura 4. Calibradores acústicos Rion NC-74 y Brüel & Kjær 4231. ....	23
Figura 5. Medidor láser Leica DISTO A2 y termohigrómetro Lutron ABH-4225. ....	23
Figura 6. Trípode Velbon CX 460. ....	24
Figura 7. Sonómetro con pantalla antievento sobre trípode. ....	24
Figura 8. Fichero de Microsoft Excel con base de datos de vías para su exportación. ..	25
Figura 9. Captura de pantalla de Autocad 2007. ....	26
Figura 10. Captura de pantalla de Cesva Capture Studio. ....	27
Figura 11. Captura de pantalla de Google Earth. ....	28
Figura 12. Captura de pantalla de CadnaA Demo. ....	29
Figura 13. Distintas metodologías de muestreo espacial. Fuente: Ausejo (2009, p.3)...	32
Figura 14. Método de rejilla vs método de categorización en la ciudad de Cáceres. Superposición de rejilla de 200 metros de tamaño y puntos de muestreo por categoría indicados por los símbolos: ....	35
Figura 15. Formatos de importación de archivos admitidos por CadnaA. ....	42
Figura 16. Distintas visualizaciones de resultados en CadnaA. ....	43
Figura 17. Ubicación de Arroyo de la Luz en España. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2014). ....	45
Figura 18. Ubicación Arroyo de la Luz en la provincia de Cáceres. Fuente: Wikipedia. .....	45
Figura 19. Delimitación del área de cálculo. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2014) ....	45
Figura 20. Ejes viarios modelados (en rojo). ....	46
Figura 21. Asignación de categorías a las vías (primera iteración) y puntos de medida. ....	47
Figura 22. Vía con dos categorías distintas asociadas a la misma. ....	52
Figura 23. Categorización definitiva y puntos de medida de Arroyo de la Luz. ....	53
Figura 24. Sonómetro Cesva SC 310 ....	59
Figura 25. Situación del sonómetro en distintos puntos de medida. ....	60
Figura 26. Hoja en DXF escala 1:2000 de parte de Arroyo de la Luz. Fuente: Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura, Dirección General de Transportes, Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, Junta de Extremadura. ....	64
Figura 27. Puntos de cota, curvas de nivel, edificaciones y naves de Arroyo de la Luz (formato DXF). ....	65
Figura 28. Puntos de cota y curvas de nivel directoras en CadnaA. ....	66
Figura 29. Errores en las curvas de nivel de la cartografía original. ....	66
Figura 30. Modelado del terreno de Arroyo de la Luz. ....	67
Figura 31. Problemas con polilíneas y números romanos. ....	68
Figura 32. Inclusión de edificios en CadnaA. ....	69
Figura 33. Modelo final de Arroyo de la Luz (vista parcial). ....	69
Figura 34. Situación del sonómetro en el punto 6 en el modelo (periodo día). ....	77
Figura 35. Situación del sonómetro en el punto 6 en el modelo y en el lugar de la medición (periodo día). ....	78
Figura 36. Aportaciones parciales de las vías modeladas al nivel calculado en el sonómetro P12. ....	79

Figura 37. Situación del sonómetro en el punto 12 en el modelo (periodo día).....	79
Figura 38. Situación del sonómetro en el punto 16 en el modelo (periodo tarde). ....	80
Figura 39. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel $L_d$ . ....	82
Figura 40. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel $L_e$ .....	82
Figura 41. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel $L_n$ . ....	83
Figura 42. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel $L_{den}$ . ....	83
Figura 43. Nivel $L_{den}$ en los distintos puntos de la fachada del edificio sensible I.E.S. Luis de Morales. ....	87
Figura 44. Mapa de niveles sonoros. Tráfico rodado. $L_{den}$ . ....	88
Figura 45. Vista parcial del mapa de ruido (3D). Tráfico Rodado. $L_{den}$ . Afectación de fachadas (vista desde calle Carretera). ....	88
Figura 46. Mapa de isolíneas de nivel sonoro. Tráfico rodado. $L_{den}$ . ....	89

## Índice de tablas

Tabla 1. Tiempo de estabilización de la medición. Fuente: Bonello et al. (2002, p. 41).	38
Tabla 2. Diferencia promedio entre $L_{eq}$ horario y el $L_{eq}$ diario correspondiente, para ponderación A, ponderación C, y promedio entre A y C. Fuente: Bonello et al. (2002, p. 42).	39
Tabla 3. Definición de variables del algoritmo.	49
Tabla 4. Método de selección de puntos para vías Tipo 3 (I).	49
Tabla 5. Ejemplo de valores obtenidos con la función aleatoria.	49
Tabla 6. Método de selección de puntos para vías Tipo 3 (II).	50
Tabla 7. Situación de los puntos de muestreo.	50
Tabla 8. Conteo de vehículos para vías Tipo 3.	55
Tabla 9. Vehículos por hora y porcentaje de vehículos pesados obtenidos.	57
Tabla 10. Niveles de ruido $LA_{eq}$ obtenidos mediante medición.	61
Tabla 11. Posibles opciones para obtener datos de flujo de tráfico. Fuente: WG-AEN (2007, p. 59).	62
Tabla 12. Posibles opciones para obtener el porcentaje de vehículos pesados. Fuente: WG-AEN (2007, p. 65).	63
Tabla 13. Validación de los puntos de medida.	76
Tabla 14. Cálculo del número de residentes del área mapeada. Fuente: WG/AEN (2007, p. 88).	81
Tabla 15. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes. Fuente: Real decreto 1367/2007.	84
Tabla 16. Clasificación del entorno acústico según su nivel de ruido. Fuente: Decreto 19/1997	85
Tabla 17. Porcentaje de población afectada por el ruido en función del periodo del día y según la clasificación que recoge el decreto 19/1997.	85
Tabla 18. Máximo nivel $L_d$ y $L_e$ en la fachada más expuesta del edificio sensible.	86
Tabla 19. Máximo nivel $L_n$ y $L_{den}$ en la fachada más expuesta del edificio sensible.	86

## 1. Introducción y justificación

En el presente documento se desarrolla un conjunto de procedimiento, tareas, tiempos y costes, para la Elaboración del Mapa Estratégico de Ruido (MER) del casco urbano de Arroyo de la Luz (Cáceres).

La idea de la realización de este Proyecto partió del contacto con la empresa Miguel Ángel Gómez Alonso (ACONTEL), la cual ofreció en su día la realización de un MER a don Santos Jorna Escobero, alcalde de la localidad de Arroyo de la Luz. Se llegó a mantener reuniones con el Ayuntamiento, presentando al alcalde una introducción a los mapas de ruido y sus ventajas para la evaluación global de la exposición al ruido, así como la posibilidad de la adopción de planes de acción en materia de contaminación acústica en caso de ser necesario. Este proyecto estuvo parado por falta de recursos humanos.

Es en este punto donde se planteó la posibilidad de retomarlo. Este proyecto presentaba ciertas ventajas en mi caso, ya que estaba relacionado con el campo de estudio principal que había desarrollado como Ingeniero Técnico de Telecomunicación especializado en Sonido e Imagen. El conocimiento de ciertas normativas y el uso de sonómetros y procesado de datos me facilitarían la tarea.

Sin embargo, mis conocimientos de Acústica Ambiental eran insuficientes, no conociendo los últimos decretos y normativas europeas y/o nacionales. La realización de este Proyecto Fin de Carrera me permitiría aprender nuevos conceptos de acústica y la posibilidad de realizar un Mapa de Ruido, tanto mediante el apoyo de software como mediante muestreos in situ.

La presentación de un mapa estratégico de ruido de una determinada localidad permite conocer la realidad acústica de dicha localidad de tal forma que se pueden establecer planes de acción para disminuir los niveles de ruido en caso de superarse los límites establecidos por las autoridades o para mantener dichos niveles dentro de los objetivos de calidad acústica requeridos. Además, con un mapa estratégico de ruido no solo conocemos los edificios y la población afectada por niveles de ruido que superan los límites establecidos, sino que podemos obtener datos adicionales tales como el diferente comportamiento del ruido en función del periodo del día, el número de fachadas tranquilas, determinación de zonas tranquilas, la determinación de la fuente sonora principal causante de molestias, etc.

De cara a un ayuntamiento, el poseer un mapa de ruido y un posterior plan de acción se podría considerar como un distintivo de calidad y un elemento evaluador de un importante factor de contaminación ambiental. Además es de utilidad como unidad de desarrollo urbanístico, ya que se analizan diferentes fuentes ruidosas (tráfico, industria, etc.) que son parte fundamental del modelo de la localidad. Por ejemplo, se puede tener en cuenta de cara a la construcción de nuevos edificios sensibles tales como centros docentes u hospitalarios. Por otra parte, el ciudadano podrá conocer de primera mano los niveles de ruido que existen en su localidad, pudiendo exigir que se cumpla la normativa existente. Además, un determinado nivel de ruido se puede presentar como un valor añadido a la hora de adquirir o vender un determinado inmueble de la localidad.

## 2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es:

*Realizar un mapa estratégico de ruido de la localidad de Arroyo de la Luz.*

Los objetivos específicos que se busca conseguir en el trabajo son los siguientes:

- a) *Presentar los conceptos básicos que se deben conocer previos a la realización de un mapa estratégico de ruido.* Se presentará la definición de mapa de ruido, así como otras definiciones que aparecen recogidas en la ley.
- b) *Presentar los principales documentos que exigen y legislan la realización de mapas de ruido.* Caben destacar la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, la Ley 37/2003, el Real Decreto 1513/2005 y el Real Decreto 1367/2007.
- c) *Describir los indicadores de ruido y su aplicación, así como los métodos de evaluación para los mismos.* Estos indicadores son los que se mostrarán en los resultados del mapa de ruido.
- d) *Introducir las diferentes metodologías de muestreo espacial en los mapas de ruido.* Se estudiarán las diferentes posibilidades para la realización de medidas in-situ.
- e) *Describir la metodología de muestreo temporal para los puntos seleccionados.* Se describirá la toma de muestras para conseguir una correcta representación temporal.
- f) *Describir el método elegido para medir los niveles de presión sonora en los distintos puntos de muestreo.* Se describirá el posicionamiento de los equipos de medida.
- g) *Discutir la validez de las medidas in situ y describir problemas particulares en la realización de algunas de ellas.* Se discutirán los problemas inherentes al muestreo in-situ.
- h) *Especificar la recogida de datos de entrada necesarios para la elaboración del mapa de ruido.* Entre ellos destacan la cartografía digital y los diferentes parámetros del tráfico rodado.
- i) *Introducción al software de simulación predictivo CadnaA<sup>1</sup>.* Es el software de predicción acústica que utilizamos en este proyecto.
- j) *Comparar resultados de mediciones in situ con el software predictivo, así como indicar posibles mejoras en el modelo.* La validación del modelo permitirá dicha comparación.
- k) *Presentar el mapa de ruido.* Se mostrarán los resultados de la situación acústica de Arroyo de la Luz según lo establecido en la legislación vigente.

---

<sup>1</sup> <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>



### 3. Estructura del documento

El presente documento consta de diferentes apartados y anexos cuyo contenido describimos brevemente a continuación.

El apartado “*Marco teórico*” comprende el estudio bibliográfico previo a la realización del mapa de ruido. En él se describe el marco legislativo que regula los mapas de ruido, se establecen definiciones generales del mismo, una relación de los indicadores de ruido necesarios, así como su método de evaluación, y los requisitos mínimos que requiere la cartografía utilizada. Por otra parte, detallamos los distintos programas de software y equipos de medida utilizados en este proyecto. Este apartado concluye con una introducción teórica relativa a la elaboración de un mapa de ruido.

El apartado “*Desarrollo del mapa de ruido*” describe la parte más práctica del proyecto. En él se detallan las distintas fases de desarrollo que hemos seguido en la elaboración del mapa de ruido de Arroyo de la Luz, la descripción de la zona de estudio, las mediciones realizadas en la misma y el método de cálculo utilizado en el software de modelización de ruido. A continuación se detalla cómo se ha llevado a cabo la validación del modelo para, posteriormente, presentar los resultados del mismo.

En el apartado “*Discusión*” se analizan los resultados obtenidos así como se discute la idoneidad de distintos métodos utilizados.

En el apartado “*Conclusiones*” razonamos la validez de la consecución de los objetivos iniciales marcados al principio de este proyecto.

El apartado “*Líneas de investigación futuras*” pretende aportar posibles mejoras al trabajo desarrollado en el proyecto. El objetivo de este apartado es propiciar la posibilidad de que una persona ajena al proyecto pueda mejorar o incrementar los resultados vertidos en este documento.

El apartado “*Presupuesto*” es de especial importancia en un proyecto de estas características, ya que se trata de la elaboración de un proyecto de ingeniería real, por lo que los costes desglosados en este apartado nos permitirán hacernos una idea de la viabilidad económica del mismo.

El apartado “*Bibliografía*” contiene la lista de referencias bibliográficas a distintos artículos, libros y revistas (tanto digitales como en formato físico) que hemos utilizado.

El apartado “*Anexos*” incluye una serie de documentos que se han considerado demasiado amplios para incluirlos en el cuerpo de la memoria así como mapas de niveles de ruido.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Marco legislativo

Es necesario destacar la creciente importancia que se le ha ido concediendo al ruido como un factor de gran impacto para la contaminación medioambiental. La creación de mapas estratégicos de ruido se ha convertido en una prioridad para la Unión Europea para llegar a conocer la contaminación acústica real de las ciudades europeas.

Es la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre evaluación y gestión de ruido ambiental la que propone las distintas metodologías, cálculos y planes de acción comunes a los Estados Miembros para la evaluación del ruido ambiental. El apartado que nos interesa en el presente documento es el referente al cartografiado estratégico del ruido y a la realización de los Mapas Estratégicos de Ruido.

Previamente a la Directiva Europea de 2002 existen varios documentos legislativos y normativos, entre los que destacamos:

- Libro Verde de la Comisión Europea de 1996 sobre la política futura de lucha contra el ruido.
- Normas ISO relacionadas con las mediciones y equipos acústicos necesarios.
- Normativas relacionadas con emisiones sonoras de diferentes tipos de ruido.
- Documentos elaborados por Comités Técnicos y Grupos de Trabajo europeos.
- Documentos elaborados por la OMS.

También existe documentación posterior a la citada Directiva Europea, en general debido al avance de las nuevas tecnologías y a la contribución de los continuos estudios en materia de ruido.

En el ámbito nacional cabe destacar:

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, publicada en el Boletín oficial del estado de 18 de noviembre de 2003.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, publicado en el Boletín oficial del estado de 17 de diciembre de 2005
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, publicado en el Boletín oficial del estado de 23 de octubre de 2007.

Entre los documentos clave desarrollados por comités técnicos y grupos de trabajo destacamos:

- *“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (2007)”* del Grupo de Trabajo de Evaluación de la Exposición al Ruido (WG/AEN).

## 4.2. Definiciones generales

Una vez especificados los distintos documentos legislativos que regulan la realización de los mapas de ruido, es conveniente hacer referencia a los conceptos básicos y definiciones que aporta la Directiva Europea 2002/49/CE<sup>2</sup> y que también recoge el Real Decreto 1513/2005.

- «ruido ambiental»: el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales.

- «efectos nocivos»: los efectos negativos sobre la salud humana.

- «molestia»: el grado de molestia que provoca el ruido a la población.

- «indicador de ruido»: una magnitud física para describir el ruido ambiental, que tiene una relación con un efecto nocivo.

- «evaluación»: cualquier método que permita calcular, predecir, estimar o medir el valor de un indicador de ruido o el efecto o efectos nocivos correspondientes.

- « $L_{den}$ » (Indicador de ruido día-tarde-noche): el indicador de ruido asociado a la molestia global.

- « $L_{day}$ » (Indicador de ruido diurno): el indicador de ruido asociado a la molestia durante el período diurno,

- « $L_{evening}$ » (Indicador de ruido en período vespertino): el indicador de ruido asociado a la molestia durante el período vespertino.

- « $L_{night}$ » (Indicador de ruido en período nocturno): el indicador de ruido correspondiente a la alteración del sueño.

- «relación dosis-efecto»: la relación entre el valor de un indicador de ruido y un efecto nocivo.

- «aglomeración»: la porción de un territorio, delimitado por el Estado miembro, *con más de 100 000 habitantes* y con una densidad de población tal que el Estado miembro la considera zona urbanizada.

- «zona tranquila en una aglomeración»: un espacio, delimitado por la autoridad competente, que, por ejemplo, no está expuesto a un valor de  $L_{den}$ , o de otro indicador de ruido apropiado superior a un determinado valor, que deberá determinar el Estado miembro, con respecto a cualquier fuente emisora de ruido.

- «zona tranquila en campo abierto»: un espacio, delimitado por la autoridad competente, no perturbado por ruido del tráfico, la industria o actividades recreativas.

---

<sup>2</sup> La descripción de los distintos indicadores de ruido se mostrará en un apartado posterior.

- «gran eje viario»: cualquier carretera regional, nacional o internacional, especificada por el Estado miembro, con un *tráfico superior a tres millones de vehículos por año*.

- «gran eje ferroviario»: cualquier vía férrea, especificada por el Estado miembro, con un *tráfico superior a 30 000 trenes por año*.

- «gran aeropuerto»: cualquier *aeropuerto civil*, especificado por el Estado miembro, *con más de 50 000 movimientos por año* (siendo movimientos tanto los despegues como los aterrizajes), con exclusión de los que se efectúen únicamente a efectos de formación en aeronaves ligeras.

- «valor límite»: un valor de  $L_{den}$  o  $L_{night}$ , o en su caso  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ , determinado por el Estado miembro, que, de superarse, obliga a las autoridades competentes a prever o a aplicar medidas. Los valores límite pueden variar en función de la fuente emisora de ruido (ruido del tráfico rodado, ferroviario o aéreo, ruido industrial, etc.), del entorno o de la distinta vulnerabilidad al ruido de los grupos de población, y pueden ser distintos de una situación existente a una nueva situación (cuando cambia la fuente de ruido o el uso dado al entorno).

- «planes de acción»: los planes encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido si fuere necesario.

- «planificación acústica»: el control del ruido futuro mediante medidas planificadas, como la ordenación territorial, la ingeniería de sistemas de gestión del tráfico, la ordenación de la circulación, la reducción del ruido con medidas de aislamiento acústico y la lucha contra el ruido en su origen.

#### **4.3. Definición de Mapa de Ruido**

La Directiva Europea sobre la Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental 2002/49/CE define un mapa de ruido como: *“la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”*.

Asimismo, la misma Directiva Europea define un mapa estratégico de ruido (MER) como: *“un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”*.

La citada Directiva Europea pretende establecer medidas e iniciativas específicas sobre la reducción del ruido ambiental, con el fin de dotar de contenido al Libro Verde de la Comisión Europea sobre la política futura de lucha contra el ruido, en el que se considera al ruido ambiental como uno de los mayores problemas medioambientales de Europa.

En la Resolución de 10 de junio de 1997 sobre el Libro Verde de la Comisión, el Parlamento Europeo puso de manifiesto *“la falta de datos fidedignos y comparables*

sobre la situación con respecto a las distintas fuentes de ruido”. Éste es uno de los motivos por los que la creación de los mapas de ruido ha ido creciendo en importancia durante los últimos años.

La utilidad de un mapa de ruido es determinar la exposición de la población al ruido ambiental, para así adoptar los planes de acción necesarios para prevenir y, en su caso, reducir el ruido ambiental y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana.

En futuros apartados desglosaremos algunos de los puntos más destacados a tener en cuenta a la hora de elaborar un mapa estratégico de ruido.

#### 4.4. Indicadores de ruido y su aplicación

Tanto en el Anexo I de la Directiva Europea de 2002 como en el Anexo I del Real Decreto de 2005 se especifican los indicadores de ruido necesarios en la preparación y la revisión de los MER. Estos indicadores de ruido son  $L_{den}$  y  $L_{night}$ . Se podrán utilizar otros indicadores de ruido nacionales y datos conexos pero deberán transformarse a los indicadores anteriormente mencionados. También se podrán utilizar indicadores suplementarios tales como  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ . Todos estos indicadores deben ser correspondientes a cuatro tipos de ruido:

- Ruido de tráfico rodado.
- Ruido ferroviario.
- Ruido industrial.
- Ruido de aeronaves.

##### 4.4.1. Definición del nivel día-tarde-noche, $L_{den}$ .

El índice de ruido día-tarde-noche,  $L_{den}$ , se expresa en decibelios (dB), y se determina mediante la expresión siguiente:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (1)$$

donde:

- $L_{day}^3$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.
- $L_{evening}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año.

---

<sup>3</sup> Los índices  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  y  $L_{night}$  son los definidos en la Directiva Europea 2002/49/CE. En el RD 1513/2005 estos índices son denominados como  $L_d$ ,  $L_e$  y  $L_n$ . La definición es idéntica en ambos casos.

- $L_{\text{night}}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año,

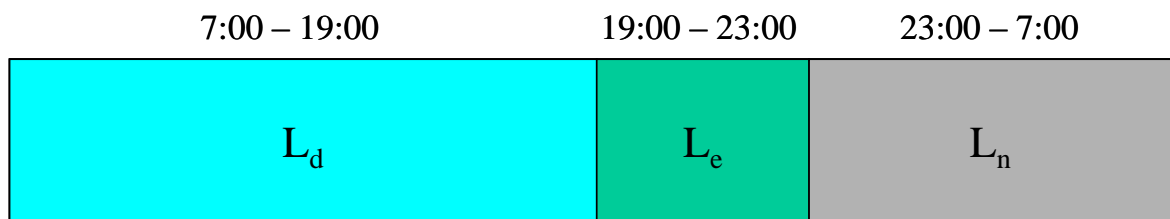
donde:

a) Periodos temporales de evaluación (RD1513/2005):

- 1° - Periodo día (d): al periodo día le corresponden 12 horas;
- 2° - Periodo tarde (e): al periodo tarde le corresponden 4 horas;
- 3° - Periodo noche (n): al periodo noche le corresponden 8 horas.

La administración competente puede optar por reducir el período tarde en una o dos horas y alargar los períodos día y/o noche en consecuencia. Esta modificación debe reflejarse en la expresión que determina el  $L_{\text{den}}$  (1).

b) Los valores horarios de comienzo y fin de los distintos periodos temporales de evaluación son: periodo día de 7.00 a 19.00; periodo tarde de 19.00 a 23.00 y periodo noche de 23.00 a 7.00, hora local.



**Figura 1. Horario de los periodos temporales de evaluación.**

La administración competente podrá modificar la hora de comienzo del periodo día y, por consiguiente, cuándo empiezan los periodos tarde y noche. La decisión de modificación deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido.

c) A efectos de calcular los promedios a largo plazo, un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

#### **4.4.2. Definición del indicador de ruido en periodo nocturno, $L_{\text{night}}$ .**

El índice de ruido en período nocturno  $L_{\text{night}}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año,

donde:

La noche dura 8 horas.

Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente.

#### **4.4.3. Índices de ruido suplementarios**

En algunos casos, además de  $L_{den}$  y  $L_{night}$ , y cuando proceda  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ , puede resultar conveniente utilizar índices de ruido especiales con los valores límite correspondientes.

Veamos algunos ejemplos:

- La fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una pequeña fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20 % del tiempo durante todos los períodos diurnos, vespertinos o nocturnos de un año).
- El número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio muy bajo (por ejemplo, menos de un caso por hora, entendiéndose por caso un ruido que dura menos de cinco minutos, por ejemplo, el ruido del paso de un tren o de un avión).
- $LA_{max}$  o SEL (nivel de exposición sonora) para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos bruscos de ruido.
- Hay protección adicional durante el fin de semana o en un período concreto del año.
- Hay protección adicional durante el período diurno.
- Hay protección adicional durante el período vespertino.
- Se da una combinación de ruidos procedentes de fuentes distintas.
- El contenido en bajas frecuencias del ruido es grande.
- El ruido tiene carácter impulsivo.

#### **4.5. Métodos de evaluación para los indicadores de ruido**

Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

##### **4.5.1. Métodos de cálculo del $L_{den}$ y $L_{night}$**

Los métodos de cálculo recomendados tanto en el Anexo II de la Directiva Europea de 2002 como en el Anexo II del Real Decreto de 2005 para la evaluación de los índices de ruido  $L_{den}$  y  $L_{night}$ , son los siguientes:

- Ruido industrial: ISO 9613-2: «Acústica-Atenuación del sonido cuando se propaga en el ambiente exterior, Parte 2: Método general de cálculo».
- Ruido de aeronaves: ECAC/CEAC Doc. 29 «Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles», 1997.

- Ruido del tráfico rodado: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPCSTB)», mencionado en la «Resolución de 5 de mayo de 1995, relativa al ruido de las infraestructuras viarias, Diario Oficial de 10 de mayo de 1995, artículo 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten a la «Guía del ruido de los transportes terrestres, apartado previsión de niveles sonoros, CETUR 1980».
- Ruido de trenes: El método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado como «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawai'96» («Guías para el cálculo y medida del ruido del transporte ferroviario 1996»).

En nuestro caso particular sólo nos interesa el **ruido del tráfico rodado**, ya que el área de evaluación no se encuentra afectada por los demás tipos de ruido previamente mencionados.

Estos métodos de cálculo son implementados por el software comercial para elaboración de mapas de ruido CadnaA, el cuál será utilizado en la realización del MER.

#### **4.5.2. Métodos de medición del $L_{den}$ y $L_{night}$**

Si una administración competente desea utilizar su propio método de medición, éste deberá adaptarse a las definiciones de los índices del apartado 4.4. y cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo, expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

Si una administración competente no tiene en vigor ningún método de medición o prefiere aplicar otro, es posible determinar un nuevo método sobre la base de la definición del índice y los principios presentados en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

Los datos obtenidos frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo.

#### **4.6. Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido**

El anexo IV del Real Decreto 1513/2005 establece los requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido. Citamos a continuación algunos de los requisitos recogidos en este anexo.

Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:

- Situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un índice de ruido.
- Superación de un valor límite.
- Número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un índice de ruido.
- Número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.

Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de:



- Gráficos.
- Datos numéricos en cuadros.
- Datos numéricos en formato electrónico.

Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:

- El tráfico rodado.
- El tráfico ferroviario.
- Los aeropuertos.
- Lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.

Por lo que se refiere a la información a la población se debe proporcionar información adicional y más detallada, por ejemplo:

- Una representación gráfica.
- Mapas que indiquen las superaciones de un valor límite.
- Mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras.
- Mapas que presenten el valor de un índice de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m sobre el nivel del suelo y a rangos de valores de  $L_{den}$  y  $L_n$  de 5 dB.

Para la realización de mapas de ruido se tendrán en cuenta las orientaciones sobre la elaboración de los mismos, contenidas en el documento de buenas prácticas publicado por la Comisión.

En la elaboración de los mapas estratégicos de ruido se utilizará cartografía digital compatible con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Todos los planos, mapas, datos y resultados de población expuesta deberán estar convenientemente georreferenciados, y presentar un formato válido para su tratamiento en el sistema básico de información sobre contaminación acústica

#### **4.7. Equipo de medición utilizado**

Para la realización de las medidas se siguen los principios presentados en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982 y en el Real Decreto 1367/2007. El equipo utilizado para la realización de las medidas de ruido cumple con las especificaciones obligatorias y está formado por:

- Sonómetro de tipo I.
- Calibrador acústico de clase I.
- Pantalla antiviento.
- Trípode portátil.
- Termohigrómetro Lutron ABH-4225.
- Medidor láser

- Hojas de campo.

La mayoría de las medidas fueron realizadas con un sonómetro de Tipo I de la marca Cesva y modelo SC310 (Figura 2) en modo analizador de espectro en tiempo real y tercios de octava. El tiempo de integración fue de 1 segundo en modo Fast (tiempo de respuesta de 125 ms).



**Figura 2. Sonómetro Cesva SC 310.**

Una serie de mediciones tuvo que ser realizada con un sonómetro de Tipo I de la marca Brüel & Kjær y modelo 2250 (Figura 3) con la misma configuración que el sonómetro Cesva SC310. El motivo de utilizar este sonómetro era que el anterior se encontraba en proceso de verificación por parte de la empresa.



**Figura 3. Sonómetro Brüel & Kjær 2250.**

Los calibradores acústicos utilizados fueron el Rion NC-74 y el Brüel & Kjær tipo 4231 (Figura4), ambos de clase I.



**Figura 4. Calibradores acústicos Rion NC-74 y Brüel & Kjær 4231.**

Todas las medidas se realizaron con pantalla antiviento. El sonómetro fue calibrado acústicamente antes y después de cada medición. En todas las ocasiones el resultado de la comprobación fue satisfactorio, existiendo una desviación en la medición dentro del rango  $\pm 0,3$  dB con respecto a la referencia de 94,0 dB.

Los sonómetros y calibradores empleados en las fechas de realización de ensayos, tienen y tenían actualizadas sus verificaciones anuales obligatorias según la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

Se utilizaron también un termohigrómetro Lutron ABH-4225 y un medidor láser Leica DISTO A2 (figura 5).



**Figura 5. Medidor láser Leica DISTO A2 y termohigrómetro Lutron ABH-4225.**

El trípode Velbon CX 460 se muestra en la figura 6.



**Figura 6. Trípode Velbon CX 460.**

La figura 7 muestra el sonómetro Cesva con la pantalla antiviento montado sobre el trípode en una de las medidas realizadas en este proyecto.



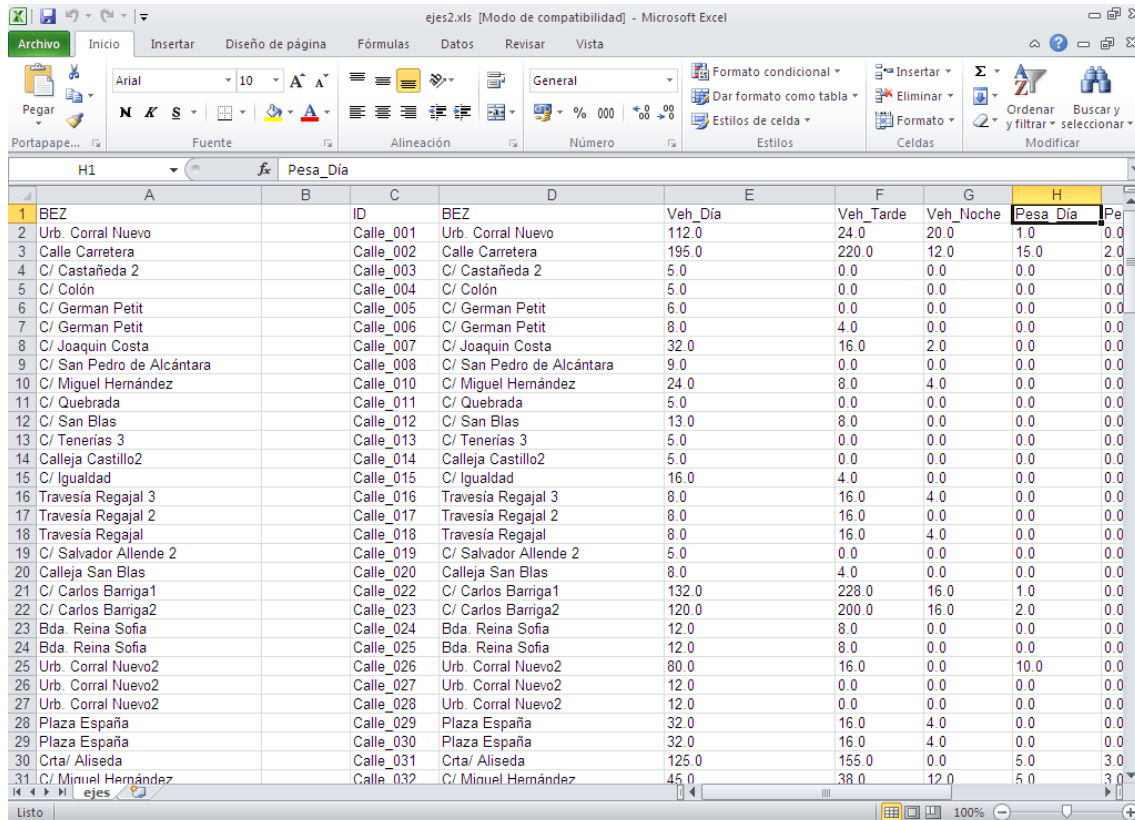
**Figura 7. Sonómetro con pantalla antiviento sobre trípode.**

#### 4.8. Software utilizado

A lo largo de la realización de este proyecto se han utilizado diferentes paquetes de software en función de la demanda que han supuesto las distintas tareas que se han ido realizando. A continuación mostramos las aplicaciones y herramientas principales que se han utilizado en la realización de este proyecto.

##### a) Microsoft Excel.

Microsoft Excel es una aplicación distribuida por Microsoft Office para hojas de cálculo. Ha sido una de las herramientas fundamentales a lo largo de la realización del proyecto. Con ella hemos realizado bastantes de los cálculos que aparecen descritos a lo largo de esta memoria. Como ejemplo, ha sido usada para realizar el muestreo espacial (donde hemos seguido un método pseudoaleatorio aplicado a la categorización de vías), el tratamiento de los registros provenientes de las mediciones, los cálculos de flujos de tráfico para los distintos periodos del día o como base de datos para la importación de parámetros en el modelo del software de modelización (Figura 8).



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'ejes2.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains a table with 8 columns: A (ID), B (BEZ), C (Veh\_Dia), D (Veh\_Tarde), E (Veh\_Noche), F (Pesa\_Dia), G (Pesa\_Tarde), and H (Pesa\_Noche). The data rows list various streets and their corresponding traffic measurements for different periods.

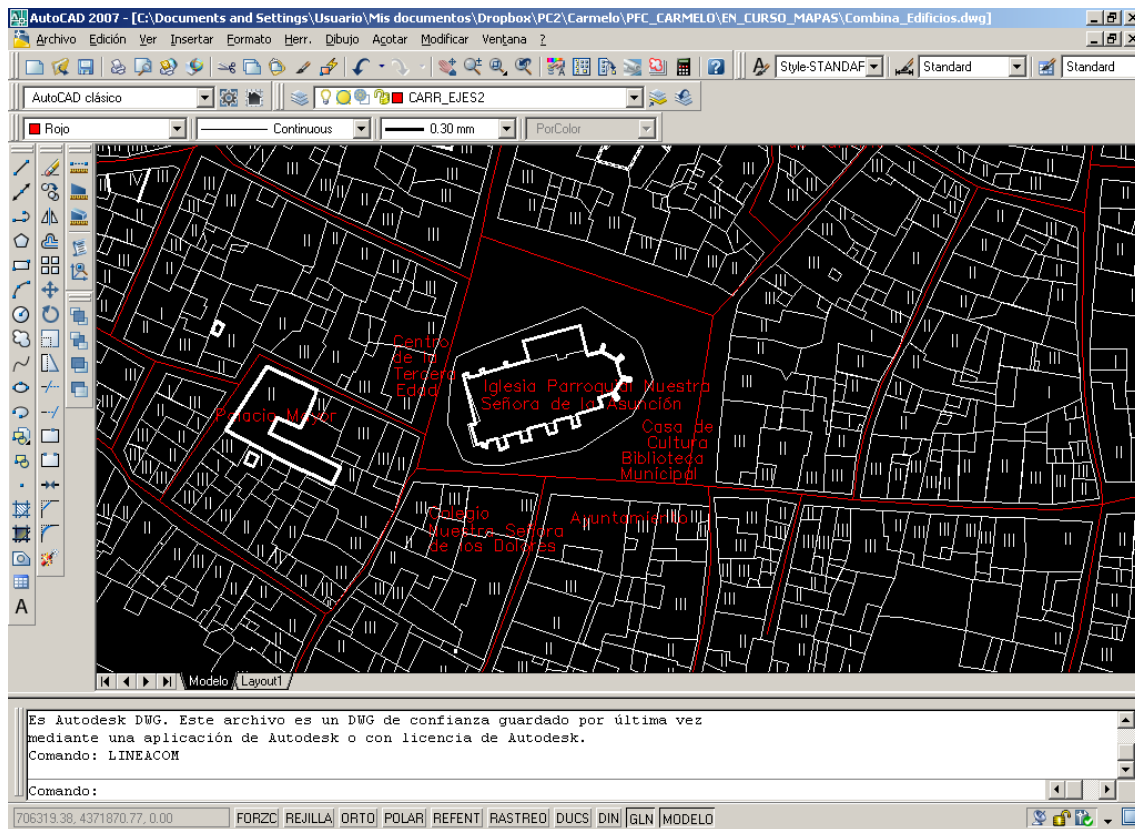
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	BEZ	ID	BEZ	Veh_Dia	Veh_Tarde	Veh_Noche	Pesa_Dia	Pesa_Tarde
2	Urb. Corral Nuevo	Calle_001	Urb. Corral Nuevo	112.0	24.0	20.0	1.0	0.0
3	Calle Carretera	Calle_002	Calle Carretera	195.0	220.0	12.0	15.0	2.0
4	C/ Castañeda 2	Calle_003	C/ Castañeda 2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	C/ Colón	Calle_004	C/ Colón	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	C/ German Petit	Calle_005	C/ German Petit	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	C/ German Petit	Calle_006	C/ German Petit	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0
8	C/ Joaquín Costa	Calle_007	C/ Joaquín Costa	32.0	16.0	2.0	0.0	0.0
9	C/ San Pedro de Alcántara	Calle_008	C/ San Pedro de Alcántara	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	C/ Miguel Hernández	Calle_010	C/ Miguel Hernández	24.0	8.0	4.0	0.0	0.0
11	C/ Quebrada	Calle_011	C/ Quebrada	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	C/ San Blas	Calle_012	C/ San Blas	13.0	8.0	0.0	0.0	0.0
13	C/ Tenerías 3	Calle_013	C/ Tenerías 3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	Calleja Castillo2	Calle_014	Calleja Castillo2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	C/ Igualdad	Calle_015	C/ Igualdad	16.0	4.0	0.0	0.0	0.0
16	Travesía Regajal 3	Calle_016	Travesía Regajal 3	8.0	16.0	4.0	0.0	0.0
17	Travesía Regajal 2	Calle_017	Travesía Regajal 2	8.0	16.0	0.0	0.0	0.0
18	Travesía Regajal	Calle_018	Travesía Regajal	8.0	16.0	4.0	0.0	0.0
19	C/ Salvador Allende 2	Calle_019	C/ Salvador Allende 2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	Calleja San Blas	Calle_020	Calleja San Blas	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0
21	C/ Carlos Barriga1	Calle_022	C/ Carlos Barriga1	132.0	228.0	16.0	1.0	0.0
22	C/ Carlos Barriga2	Calle_023	C/ Carlos Barriga2	120.0	200.0	16.0	2.0	0.0
23	Bda. Reina Sofía	Calle_024	Bda. Reina Sofía	12.0	8.0	0.0	0.0	0.0
24	Bda. Reina Sofía	Calle_025	Bda. Reina Sofía	12.0	8.0	0.0	0.0	0.0
25	Urb. Corral Nuevo2	Calle_026	Urb. Corral Nuevo2	80.0	16.0	0.0	10.0	0.0
26	Urb. Corral Nuevo2	Calle_027	Urb. Corral Nuevo2	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	Urb. Corral Nuevo2	Calle_028	Urb. Corral Nuevo2	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	Plaza España	Calle_029	Plaza España	32.0	16.0	4.0	0.0	0.0
29	Plaza España	Calle_030	Plaza España	32.0	16.0	4.0	0.0	0.0
30	Crta/ Aliseda	Calle_031	Crta/ Aliseda	125.0	155.0	0.0	5.0	3.0
31	C/ Manuel Hernández	Calle_032	C/ Manuel Hernández	45.0	38.0	12.0	5.0	3.0

Figura 8. Fichero de Microsoft Excel con base de datos de vías para su exportación.

##### b) Autocad.

Autocad (Figura 9) es un software de diseño asistido por ordenador (CAD, en sus siglas en inglés) utilizado para dibujo 2D y modelado 3D desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. Hemos utilizado este software para trabajar con las distintas cartografías utilizadas. Las principales operaciones han sido las de corrección de errores de la cartografía original, extracción de las capas necesarias para el modelo del mapa de ruido, adición o substracción de edificios o carreteras que

faltaban o sobraban en la cartografía original y el tratamiento de los edificios para obtener su altura con el software de predicción.



**Figura 9. Captura de pantalla de Autocad 2007.**

c) Cesva Capture Studio.

Es una aplicación de software (Figura 10) que nos permite la importación de los datos del sonómetro Cesva a un ordenador, la representación gráfica del espectro de las mediciones de ruido y la visualización de varios indicadores de ruido.



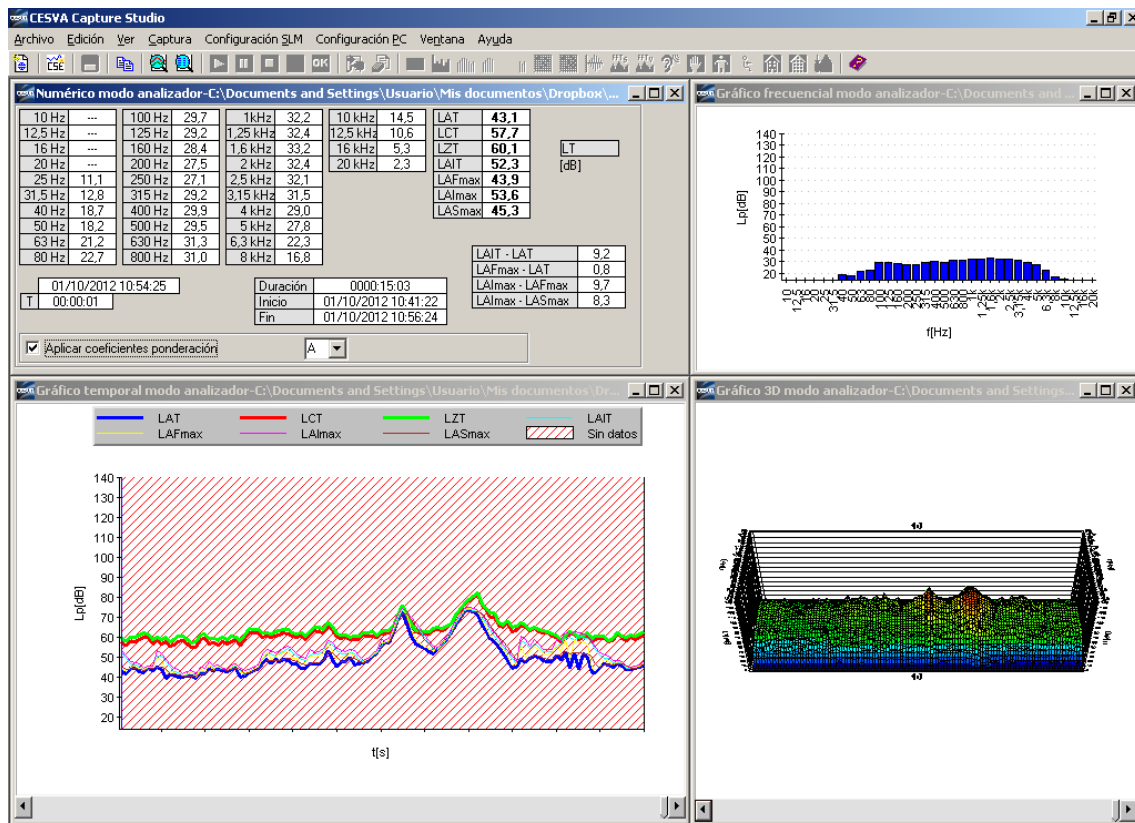


Figura 10. Captura de pantalla de Cesva Capture Studio.

d) Measurement Partner Suite BZ 5503 de Brüel & Kjær.

Es la aplicación principal de Brüel & Kjær para el procesado de datos obtenidos con el sonómetro tipo 2250 de Brüel & Kjær. Ha sido utilizado en este proyecto únicamente para capturar y exportar los datos del sonómetro.

e) Google Earth.

Google Earth (Figura 11) es un programa informático de Google que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. Ha sido utilizado para determinar distancias y atributos de vías, para dibujar los distintos tipos de categoría de vía y para representar los puntos de medida sobre un mapa. Nos ha servido para actualizar los datos de la cartografía digital utilizada en Autocad.

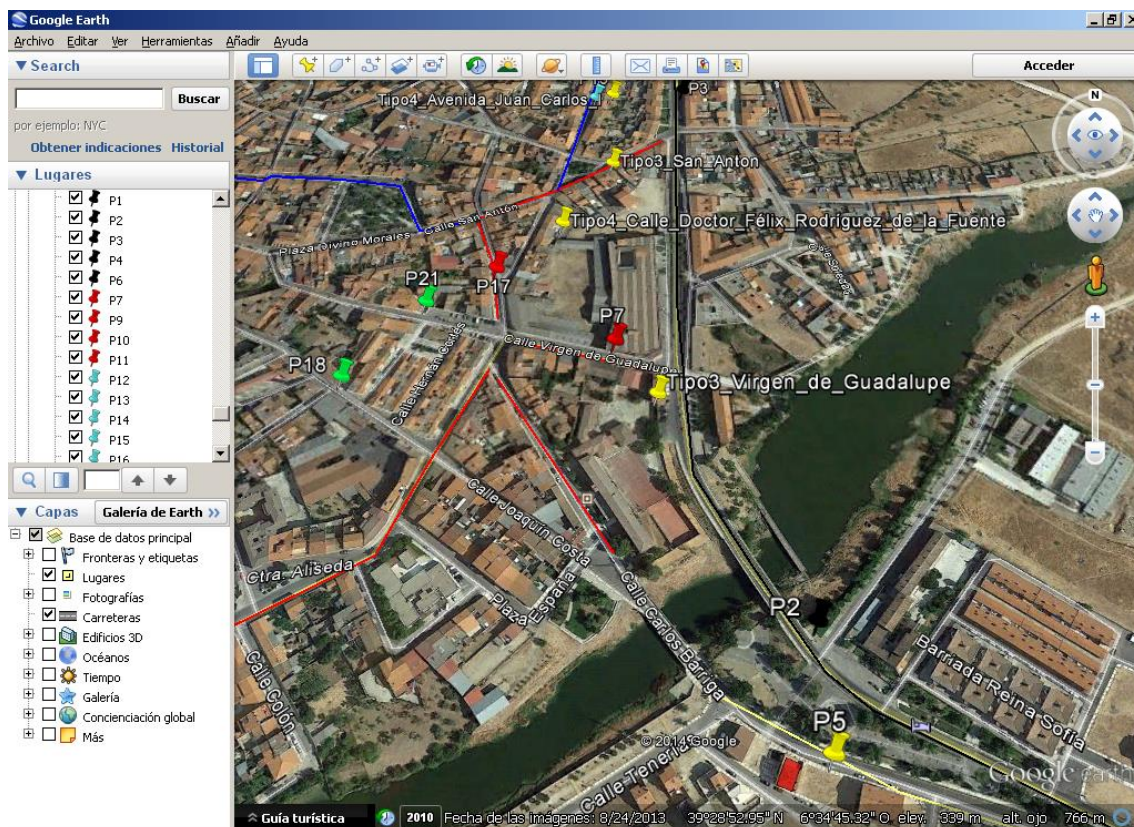


Figura 11. Captura de pantalla de Google Earth.

f) Google Maps.

Google Maps es un servidor de aplicaciones de mapas en la web que pertenece a Google. Ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotografías por satélite del mundo. La característica *Street View* nos ha servido para actualizar los datos de la cartografía digital utilizada en Autocad y se ha utilizado como complemento de Google Earth.

g) CadnaA<sup>4</sup> Demo.

CadnaA es el software líder a nivel mundial de modelización, cálculo y gestión del ruido ambiental. La versión demo de CadnaA (Figura 12) es una versión que nos permite realizar la mayoría de operaciones que ofrece el software de modelado CadnaA. Esta versión ha sido la más ampliamente usada durante este proyecto debido a que la licencia del programa CadnaA se encontraba en la sede de la empresa CECOR S.L. en Valladolid y solo se ha podido utilizar cuando nos hemos desplazado físicamente a aquella ciudad. La empresa no permitía el trabajo en remoto. Las principales restricciones de esta versión son la imposibilidad de guardar una sesión o proyecto y el falseo de los resultados de cualquier tipo de cálculo. No obstante, todos los cálculos (del modelo de calibración, modelo final y evaluación de edificios) se han realizado en la versión XL de CadnaA. Una vez obtenidos todos los resultados en la versión CadnaA XL, la versión demo nos permite trabajar con todos los datos de forma gráfica y en forma de tablas.

<sup>4</sup> Hablamos más detenidamente de CadnaA en el apartado 4.9.2.1.



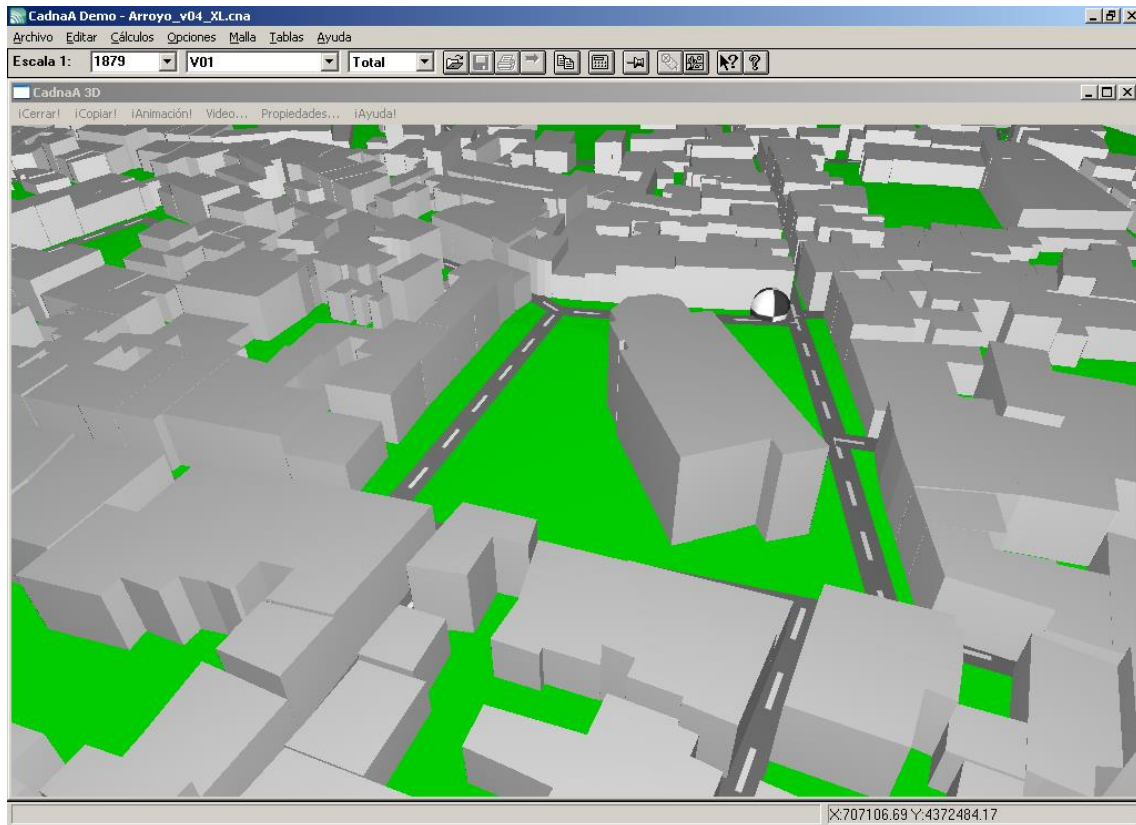


Figura 12. Captura de pantalla de CadnaA Demo.

#### h) CadnaA XL.

CadnaA XL es una versión del software de CadnaA que mejora las posibilidades de cálculo de la versión simple del programa. Entre sus principales características, permite el cálculo de un número de obstáculos y edificios ilimitados (mientras que en la versión simple está restringido a un máximo de 1000 edificios y 1000 pantallas), la característica *Object-scan* ofrece numerosas opciones de análisis y permite estimar la densidad de población. CadnaA XL fue utilizado para realizar todos los cálculos del modelo del mapa de ruido de Arroyo de la Luz.

#### 4.9. Elaboración de un mapa de ruido

Los mapas estratégicos de ruido (MER) requieren el conocimiento de múltiples y variados conceptos que hacen que la tarea se convierta en un problema relativamente complejo. Cuando se afronta por primera vez la realización de un MER nos damos cuenta de que aparecen numerosos factores externos que no están contemplados en las diferentes normativas y directrices que regulan la realización de dichos mapas. De ahí que tras la aparición de la Directiva Europea 2002/49/CE se hayan reunido diferentes grupos europeos especializados en Acústica para tratar la cuestión.

Tras la realización de distintas consultas y discusiones paneuropeas y recibir los comentarios de los distintos grupos de los Estados Miembros, se llegó a la publicación de uno de los documentos más extensamente utilizados para el desarrollo de los MER: “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (2007)*” (WG-AEN, 2007) del Grupo de Trabajo de Evaluación de la Exposición al Ruido (WG-AEN). Ésta guía de buenas prácticas intenta complementar la Directiva de 2002 aconsejando distintas acciones que han de tomarse en la elaboración de los MER. Sin embargo, esta guía carece de carácter normativo o regulatorio.

Si tratamos un MER como un proyecto, éste requiere de una planificación. La planificación es fundamental a la hora de realizar un MER, ya que una deficiente planificación repercutirá en el incremento de tiempo y recursos dedicados. En primer lugar, es necesaria una lectura y comprensión de las distintas normativas y guías existentes, aparte de los conocimientos técnicos necesarios sobre acústica ambiental. En segundo lugar, es muy importante el conocimiento del área de estudio para poder tomar distintas decisiones en función de sus características. Conocido el área de estudio, el siguiente paso consiste en decidir si es conveniente hacer un MER basado en cálculos o basado en mediciones.

El método de medición para la elaboración de mapas de ruido ha sido ampliamente utilizado hasta la generalización de los sistemas de software de predicción de ruido a inicios del siglo XXI. Tanto la Directiva Europea de 2002 como el Real Decreto español de 2005 indican en su Anexo II que los valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Sin embargo, las predicciones solo pueden obtenerse mediante cálculos. La obligatoriedad del uso de cálculos para predecir estos valores ha hecho que el método de medición caiga en desuso.

En la realización del mapa de ruido descrito en esta memoria se optó inicialmente por utilizar un método combinado, realizando medidas “*in situ*” que servirán como un primer acercamiento a la situación acústica del lugar y, a su vez, como posteriores datos para la validación del modelo generado mediante el software comercial. **No obstante, esta idea inicial fue descartada y solo se utilizaron las medidas de ruido para la calibración/validación del mapa de ruido calculado mediante el software de predicción acústica, es decir, se optó por el método de cálculo.**

Independientemente del método elegido, las medidas de ruido son necesarias para la validación del modelo calculado. Además, uno de los parámetros de entrada del

modelo es el flujo de vehículos en las distintas vías de la zona de estudio (así como la velocidad media, porcentaje de vehículos pesados, tipo de asfalto, etc.). La realización de las medidas de ruido se suele simultanear con un conteo de vehículos.

#### **4.9.1. Realización de las mediciones**

Las mediciones de ruido para obtener los niveles  $L_{den}$  y  $L_{night}$  deben cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo, expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

Para realizar las mediciones “*in situ*” se debe utilizar un plan de muestreo específico de las mismas. Las metodologías de muestreo espacial mediante medidas experimentales son variadas y se ha de seleccionar una de ellas.

##### **4.9.1.1 Muestreo espacial**

La elaboración de un plan de muestreo previo a la realización de medidas es extremadamente importante, ya que dependiendo del plan escogido conseguiremos datos más o menos ajustados a la realidad.

Entre los métodos más utilizados destacamos:

- a) **Metodología de rejilla o cuadrícula (grid):** consiste en dividir la zona bajo estudio en una rejilla de distancia fija. Las medidas se realizan en los nodos de la rejilla. Se suelen tomar distancias entre los 50 y 300 metros. Una resolución adecuada podría ser una rejilla de 200 metros. Se ha demostrado que una mayor precisión de 200 metros apenas mejora los resultados o las incertidumbres del método (Barrigón et al., 2002, p.6).

El problema de esta metodología es que la selección de puntos puede ser no representativa de la zona de estudio y conseguir valores que no se ajusten a la realidad acústica del lugar. Tomando cuadrículas de 200 metros se pueden obtener valores totalmente distintos en los distintos nodos de estudio y, por tanto, no elegir una zona adecuada para medir.

Otro problema de esta metodología es el número de mediciones a realizar. Si utilizamos una rejilla de 200 metros en una aglomeración, las mediciones pueden llegar a un número muy elevado, requiriendo numerosos recursos humanos y temporales. Uno de los principales elementos que debemos considerar en la realización de Mapas de Ruido es la optimización de recursos, haciendo posible la viabilidad del proyecto.

- b) **Metodología de categorización:** este método consiste en asignar a cada calle o vía de la zona de estudio una categoría distinta y muestrear diferentes puntos de las vías asumiendo que las de la misma categoría tendrán niveles de ruido similares. Dentro de esta metodología existen distintas aproximaciones según distintos autores.
- c) **Muestreo en zonas específicas:** consiste en muestrear diferentes puntos del área bajo estudio que sean de nuestro interés. Se suele emplear cuando la

metodología de categorización o la de rejilla no cubren una determinada área con un ruido específico, como podría ser el producido por el ocio nocturno.

- d) **Muestreo Aleatorio:** Esta metodología se utiliza cuando los métodos anteriores son de difícil aplicación o no se pueden aplicar. Es la menos recomendable, puesto que una aleatorización del muestreo de una zona probablemente nos dará idea errónea del ruido del área de estudio. Es importante también elegir un número de muestras muy grande para que pudiera ser representativo, requiriendo un gran número de recursos humanos y temporales.

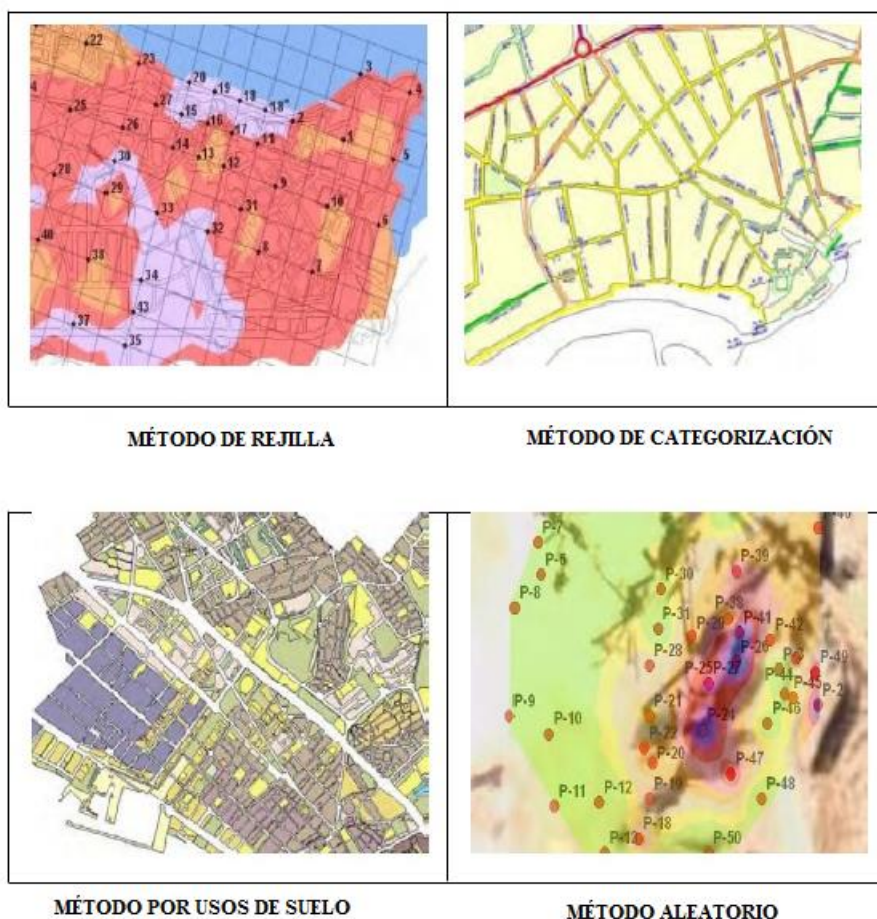


Figura 13. Distintas metodologías de muestreo espacial. Fuente: Ausejo (2009, p.3).

A pesar de las metodologías descritas, es común la realización de las campañas de ruido combinando varios de estos métodos. El criterio consiste en adaptarse a las características del área bajo estudio y a los recursos disponibles.

Teniendo en cuenta las características de Arroyo de la Luz, una localidad donde la industria no es un foco de ruido importante, no dispone de aeropuerto ni vías de tren, hemos optado por utilizar el método de categorización de vías para ruido urbano, donde el tráfico rodado es la principal fuente de ruido.

#### 4.9.1.2. Método de categorización para ruido urbano

Una vez descritos en el apartado 4.5.1.1 los métodos más comunes de muestreo espacial, desarrollamos en este apartado la elección la metodología adoptada en el presente proyecto. Se optó por utilizar el método de categorización de vías, ya que el

principal foco de ruido es el tráfico rodado y la categorización por vías se antoja adecuada para nuestro caso. Si bien el método de rejilla es el más comúnmente aceptado y descrito en la normativa pertinente, el método de categorización nos permite ciertas ventajas respecto al de rejilla (Barrigón et al., 2011):

- a) El número de mediciones necesarias se reduce considerablemente (hasta un 70%) con respecto al método de rejilla (eligiendo una malla de tamaño adecuado).
- b) La selección inicial de puntos de muestreo es más sencilla en el método de rejilla puesto que solo hay que superponer una malla sobre el tamaño estimado de la zona de cálculo de la ciudad, mientras que en el método de categorización las vías han de ser analizadas, se debe medir la longitud total de cada categoría de vía y se debe hacer una selección pseudoaleatoria de puntos. Sin embargo, la selección definitiva de los puntos de muestreo es más sencilla en el método de categorización, ya que generalmente es la misma que la obtenida sobre el mapa, mientras que en el método de rejilla habrá bastantes casos en los que la localización obtenida no permita la medida (medida dentro de un edificio, en un punto de difícil acceso, etc.)
- c) Los errores de predicción muestran que, utilizando el método de rejilla, los niveles de ruido asociados a las vías más ruidosas de la ciudad (las cuatro primeras categorías) se subestiman de manera importante, algo que no ocurre con el método de categorización.

En concreto, hemos optado por utilizar un método de categorización desarrollado y verificado ampliamente por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura.

El método propuesto puede describirse en los siguientes seis pasos (Barrigón et al., 2005):

- 1) Definir las categorías de la forma más objetiva posible (es deseable que el número de categorías sea pequeño).
- 2) Asignar las calles de la ciudad a estas categorías.
- 3) Seleccionar los puntos de muestreo (varios para cada categoría). Usamos un método aleatorio de selección sobre la longitud total de las calles de cada categoría (suma de las longitudes de las calles para cada categoría)
- 4) Decidir la planificación del muestreo: el número de medidas a realizar en cada punto de muestreo, el intervalo horario del muestreo y el tiempo de muestreo.
- 5) Llevar a cabo el muestreo.
- 6) Interpretar los resultados y verificar la hipótesis inicial.

Los pasos más complicados de este método son el paso 1 y el paso 2. El paso 1 consiste en llegar a una correcta definición de las categorías. Para minimizar el número de variables involucradas parece razonable centrarse en las pruebas de ciudades o poblaciones del mismo tamaño<sup>5</sup>. El paso 2 también puede tener una gran complejidad, por lo que se opta por realizar una primera aproximación para la categorización de las vías basada en el callejero de la ciudad y una posterior revisión teniendo en cuenta

---

<sup>5</sup> El estudio al que hacemos referencia toma ciudades de tamaño medio (Salamanca, Cáceres,...) mientras que en nuestro caso estamos tratando con una localidad pequeña.

visitas a la zona, hablar con los habitantes de la localidad y observar ciertos patrones de tráfico. Esta tarea es mucho más complicada en poblaciones pequeñas, ya que apenas tenemos datos de entrada suficientes (velocidad media, número de vehículos por vía, vías más utilizadas, etc.) en este tipo de localidades.

El método de categorización utilizado consiste en:

Asignar a cada calle de la ciudad una de las diferentes categorías definidas (ver definición debajo). Después se seleccionan 10 puntos aleatoriamente para cada categoría como puntos de muestreo<sup>6</sup>.

Cabe destacar que el concepto de *vía* no es el mismo que el utilizado en un contexto administrativo. En particular, para el propósito de nuestra categorización, diferentes partes de una misma vía administrativa con diferentes funciones pueden ser asignadas a diferentes categorías<sup>7</sup>.

Se establecen los distintos grupos de categorías en función de cómo son utilizadas las vías para comunicar las distintas zonas de la ciudad.

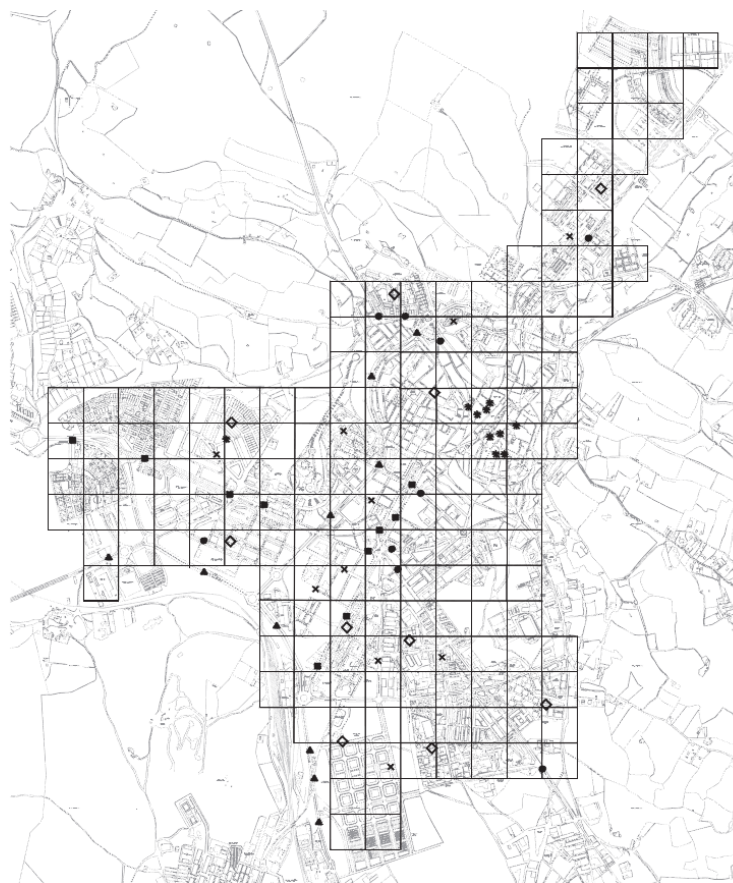
- Tipo 1. Comprende aquellas vías preferenciales cuya función es formar una conexión con otras ciudades españolas (carreteras nacionales) e interconectar esas vías preferenciales (en general, la indicación de este último tipo de vía es su sistema de señales de tráfico).
- Tipo 2. Comprende aquellas vías que proveen acceso a los nodos de distribución principales de la ciudad. Se considera un nodo de distribución principal cuando confluyen al menos cuatro vías principales. Esta definición no incluye cualquier posible nodo que vías preferenciales como las definidas en el Tipo 1. esta categoría también incluye las vías que se utilizan normalmente como una alternativa a las de Tipo 1 en caso de saturación de tráfico.
- Tipo 3. Comprende aquellas vías que llevan a carreteras regionales, vías que proveen acceso a las de Tipo 1 y Tipo 2 a centros de interés en la ciudad (hospitales, centros comerciales, etc.), y vías que permiten claramente la comunicación entre las de Tipo 1 y Tipo 2.
- Tipo 4. Comprende las demás vías que permiten claramente la comunicación entre los tres tipos de vía previamente definidos, y las vías principales de los diferentes distritos de la ciudad que no han sido definidas en las categorías anteriores.
- Tipo 5. Comprende el resto de las vías de la ciudad a excepción de las vías peatonales.
- Tipo 6. Comprende todas las vías peatonales.

---

<sup>6</sup> En nuestro caso hemos asignado entre 5 y 6 puntos por categoría tras una conversación con el autor principal del artículo y tras observar que la localidad de estudio es bastante menor que la analizada en dicho artículo.

<sup>7</sup> Veremos un caso particular en la localidad de Arroyo de la Luz.





**Figura 14. Método de rejilla vs método de categorización en la ciudad de Cáceres. Superposición de rejilla de 200 metros de tamaño y puntos de muestreo por categoría indicados por los símbolos: ▲ Tipo 1. ■ Tipo 2. ● Tipo 3. x Tipo 4. ◇ Tipo 5. \* Tipo 6. Fuente: Barrigón et al. (2011, p.762).**

#### **4.9.1.3. Selección de puntos de muestreo**

Una vez categorizadas las distintas vías de la ciudad hay que seleccionar los puntos donde se realizarán las distintas mediciones. Para ello, y siguiendo con el método propuesto en el apartado anterior, se determina la longitud total de las vías por categoría. A continuación se utiliza una secuencia pseudoaleatoria para elegir los diferentes puntos de muestreo a lo largo de la longitud total de cada categoría y los puntos se localizan en el mapa. Los puntos equivalentes (dos puntos se consideran equivalentes si son localizados en la misma sección de la vía sin que exista una intersección entre ambos) son descartados y se realiza una nueva selección. Siguiendo este protocolo, todos los puntos de una categoría cualquiera tienen la misma probabilidad de ser elegidos; en particular, cuanto más larga sea la vía, más probable será que uno de sus puntos sea muestreado.

Este método de selección evita los efectos negativos de otros métodos que utilizan una selección arbitraria de puntos de muestreo, lo que puede dar lugar a una elección de los puntos más ruidosos introduciendo así un sesgo en los resultados.

#### **4.9.1.4. Muestreo temporal**

En el apartado 4.4.1. hemos definido los niveles  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  y  $L_{night}$  como los niveles sonoros medios a largo plazo ponderado A definidos en la norma ISO 1996-2:

1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos, vespertinos y nocturnos de un año. En el apartado 4.5.2. describíamos los métodos de medición del  $L_{den}$  y  $L_{night}$  donde se especificaba que las mediciones deben cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo, expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982. En el estándar internacional ISO 1996 se define el nivel sonoro continuo equivalente  $L_{Aeq,T}$  como:

- el valor del nivel de presión en dB en ponderación A de un sonido estable que en un intervalo de tiempo T posee la misma presión sonora cuadrática media que el sonido que se mide y cuyo nivel varía con el tiempo.

Su fórmula es la siguiente:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_a(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

donde T es un intervalo de tiempo,  $p_a(t)$  es la presión sonora con ponderación A y  $p_0$  es la presión de referencia (20  $\mu$ Pa).

Si dividimos los intervalos de tiempo en un número M de sub-intervalos,  $T_i$ , con su correspondiente  $L_{Aeq,T_i}$ , obtenemos:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^M T_i * 10^{(L_{Aeq,T_i})/10} \right)$$

Esta fórmula es análoga a la que se utiliza en el Real Decreto 1367/2007:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{Aeq,T_i})} \right)$$

donde:

T, es el tiempo en segundos correspondiente al periodo temporal de evaluación considerado.

$T_i$ , intervalo de tiempo de la medida i.

n, es el número de mediciones del conjunto de las series de mediciones realizadas de duración  $T_i$  en el periodo de tiempo de referencia T.

El valor del nivel sonoro resultante, se redondeará incrementándolo en 0,5 dB(A), tomando la parte entera como valor resultante.

En la mayoría de los mapas de ruido se utilizan tiempos de muestreo de 15 minutos de duración. Es decir, medidas de 15 minutos para obtener los distintos  $L_{Aeq,T_i}$  y posteriormente promediarlos. 15 minutos es el tiempo que hemos utilizado en nuestras mediciones en el presente trabajo.

Para justificar la elección de este tiempo hacemos referencia a un estudio de Bonello, Gavinowich y Ruffa (2002, pp. 39-43), que analizaron la experiencia



internacional para encontrar que se ha muestreado de muchas formas diferentes. Desde 2 minutos por hora hasta 20 minutos por hora. Desde mediciones efectuadas sólo en horas pico hasta aquellas que se extienden por 24 horas, e incluso, casos de mediciones continuas de 24 horas sin muestreo temporal.

Otra variante que se encuentra es la ubicación del período muestreado dentro del evento que representa. Esto es, por ejemplo, si se decide medir 15 minutos por hora, y queremos medir el  $L_{eq}$  del período de 07:00 a 08:00, podemos medir de 07:00 a 07:15, o de 07:10 a 07:25, o medir tres intervalos de 5 minutos separados entre sí durante la hora bajo análisis. Todas estas alternativas son válidas. Sin embargo, no es aconsejable muestrear siempre en el mismo horario, por ejemplo, de 07:00 a 07:15, porque estaríamos representando siempre la misma franja horaria de 15 minutos. Resulta más representativa, por ejemplo, una medición en la que se desplaza la ventana en unos minutos cada día, o una en la cual el tiempo neto de medición se fracciona en una serie de intervalos menores distribuidos durante la hora o el intervalo a caracterizar.

Lo teóricamente ideal sería medir continuamente cada minuto de las 24 horas, a modo de minimizar absolutamente el error de muestreo. El inconveniente que esto presenta es la excesiva cantidad de información a almacenar y procesar, lo que exige capacidades excepcionales al equipamiento empleado, produciendo un impacto directo en el costo del proyecto. Más aún, generalmente medir en esta forma resulta ineficiente. Esto es así debido a que midiendo 15 minutos cada hora se pueden obtener resultados aceptables.

En lo que respecta al período de medición, tendremos que adoptar una solución de compromiso. Cuanto menor sea el tiempo de muestreo, mayor será la desviación estándar resultante en los valores de  $L_{eq}$ , de modo que, si medimos 1 minuto por cada hora, la desviación estándar de los  $L_{eq}$  horarios será mayor que si medimos 60 minutos por hora.

La medición de  $L_{eq}$  se estabiliza después de un cierto tiempo en un entorno del valor final que se obtendría midiendo en forma continua. Una medición más extensa no aportaría nueva información, haciéndose de esta forma innecesario prolongar más allá de ese punto el período de muestreo.

Bonello et al. (2002, p. 41) obtuvieron mediante un experimento de simulación que en el 95% de los casos la medición se estabiliza en  $\pm 0,5\text{dB}$  antes de los 15 minutos (Tabla 1).

<b>Simulación #</b>	<b>Minutos Hasta Estabilizarse en <math>\pm 1</math>dB</b>	<b>Minutos Hasta Estabilizarse en <math>\pm 0,5</math>dB</b>	<b>Minutos Hasta Estabilizarse en <math>\pm 0,2</math>dB</b>
1	8	13	20
2	5	6	24
3	1	4	12
4	2	13	34
5	3	7	12
6	2	5	9
7	2	3	7
8	1	4	19
9	4	6	48
10	3	6	29
11	2	12	21
12	5	32	38
13	1	14	33
14	2	4	15
15	3	6	20
16	1	4	23
17	1	2	14
18	4	5	16
19	2	10	15
20	4	14	39
<b>Promedio:</b>	<b>2,8</b>	<b>8,5</b>	<b>22,4</b>
<b>Desv. Est.:</b>	<b>1,8</b>	<b>6,8</b>	<b>11,1</b>

**Tabla 1. Tiempo de estabilización de la medición. Fuente: Bonello et al. (2002, p. 41).**

Cuando no es posible realizar mediciones en continuo de 24 horas, se ha de medir sólo algunas horas. A los efectos de determinar qué horarios serían los más representativos, Bonello et al. (2002) analizaron mediciones de Buenos Aires de 2001, en las que se empleó un muestreo de 15 minutos por hora, a los efectos de encontrar cuáles fueron los  $L_{eq}$  horarios que dieron resultados más cercanos a los  $L_{eq}$  diarios correspondientes. En la tabla 2 aparecen los resultados obtenidos en tres columnas, ordenando los valores de menor a mayor. En la primera se puede apreciar el promedio del valor absoluto de las diferencias entre el  $L_{Aeq}$  horario y el  $L_{Aeq}$  diario correspondiente, para cada hora. En la segunda columna vemos la misma información con ponderación C, y en la tercera, el promedio de los valores obtenidos con cada una de las dos curvas de ponderación. Como aclaración, cuando mencionamos, por ejemplo, la hora 14, nos referimos al período de 60 minutos que comienza a las 14:00 horas.

Hora	$ L_{eq,h}(A)-L_{eq,d}(A) $ (Promedio, en dB)	Hora	$ L_{eq,h}(C)-L_{eq,d}(C) $ (Promedio, en dB)	Hora	Promedio entre A y C (en dB)
22	0,59	21	0,55	21	0,62
21	0,69	22	0,73	22	0,66
20	1,02	20	1,13	20	1,07
19	1,46	6	1,31	19	1,52
5	1,72	7	1,50	6	1,61
18	1,84	19	1,58	7	1,67
7	1,85	12	1,71	23	1,84
6	1,90	23	1,74	12	1,88
23	1,94	14	1,74	13	1,91
13	2,00	11	1,76	5	1,91
16	2,02	13	1,81	16	1,97
12	2,05	10	1,82	18	1,97
15	2,17	15	1,87	14	1,99
11	2,22	16	1,92	11	1,99
14	2,23	5	2,11	15	2,02
17	2,28	18	2,11	10	2,25
8	2,47	8	2,28	17	2,29
9	2,68	17	2,30	8	2,37
10	2,68	9	2,33	9	2,50
0	3,52	0	3,15	0	3,33
1	4,37	1	3,80	1	4,08
4	5,03	4	4,62	4	4,82
3	6,09	2	5,38	2	5,75
2	6,12	3	6,15	3	6,12

**Tabla 2. Diferencia promedio entre  $L_{eq}$  horario y el  $L_{eq}$  diario correspondiente, para ponderación A, ponderación C, y promedio entre A y C. Fuente: Bonello et al. (2002, p. 42).**

Podemos observar que las mediciones horarias que más se acercaron a los niveles equivalentes diarios fueron, sin una mayor influencia de la ponderación empleada, las correspondientes a las horas 19, 20, 21, y 22. En segundo lugar, se puede notar un grupo de horarios matutinos comprendido principalmente por las horas 6 y 7.

En definitiva, lo estudiado en este apartado nos sirve para justificar un tiempo de muestreo de 15 minutos por medición. También se ha intentado medir desplazando la ventana horaria para que, por ejemplo, no se realizaran varias medidas a las 7:15 durante varios días, sino que se distribuyeran aleatoriamente en el periodo de 7 a 10 de la mañana.

#### **4.9.1.5. Altura del punto de evaluación de los índices de ruido**

Tanto la Directiva Europea 2002/49/CE como el Real Decreto 1513/2005 describen la altura del punto de evaluación para los mapas estratégicos de ruido. Ambos documentos describen la altura para cálculos y para mediciones. Se describe a continuación.

Cuando se efectúen cálculos para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se situarán a  $4,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$  (3,8 m-4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta; a tal efecto, la fachada más expuesta será el

muro exterior más próximo situado frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones.

Cuando se efectúen mediciones para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, podrán escogerse otras alturas, si bien éstas no deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de 4 m. En estos casos se justificarán técnicamente los criterios de corrección aplicados.

Comparativamente, aparecen ventajas en ambos casos. Mientras una altura entre 1,5 y 1,8 metros representa mejor la percepción acústica de los peatones, una elevación de 4 metros reflejaría mejor el impacto del ruido a la altura de la mayoría de las viviendas en edificios.

En nuestro caso hemos medido a 1,5 metros de altura sobre el nivel del suelo con un sonómetro situado sobre un trípode.

#### **4.9.1.6. Consideraciones y correcciones efectuadas**

Se tuvo en cuenta para todas las mediciones las condiciones meteorológicas:

- No se midió cuando la velocidad del viento superaba los 5 metros por segundo.
- Se comprobó que no existieran fuertes inversiones de temperatura entre el inicio y fin de cada medición.
- No se realizaron mediciones cuando había lluvia.
- En los días especialmente calurosos y soleados se procuró situar el sonómetro en zonas de sombra o correctamente protegido del sol.

Por otra parte, se anotó en todas las mediciones las posibles perturbaciones sonoras procedentes de fuentes que no fueran tráfico rodado. Se descartaron algunas mediciones cuando cerca del sonómetro pasaban personas hablando en alto, vehículos que se paraban con el motor encendido durante varios minutos, etc. Se procuró no medir cerca de aparatos de aire acondicionado en verano. Algunos ruidos esporádicos típicos durante las mediciones fueron ruidos de animales (por tratarse de una zona rural) o campanadas de la iglesia. Se comprobaba si determinados ruidos ajenos al tráfico rodado eran importantes para la contribución total a la medida mediante gráficas y tablas de datos importados al ordenador tras la medición. Por tanto, aunque se ha tenido en cuenta el ruido de fondo, no se ha aplicado corrección por ruido de fondo (esta corrección es más importante en medidas de menor duración como, por ejemplo, el nivel de emisión sonora de un extractor durante 15 segundos).

En las mediciones donde el micrófono ha estado situado a menos de 1,2 metros de la fachada (por imposibilidad física de realizarse a mayor distancia) se ha aplicado una corrección de 3 dB. Esto es así porque cerca de la fachada existe una contribución mayor de la onda reflejada. Esta sustracción de 3 dB se recomienda para estos casos en la norma ISO 1996-2:1987 para calcular el sonido de la onda incidente.

#### **4.9.2. Software de modelización**

La Directiva 2002/49/CE y la Ley de Ruido de 2003 propugnan como método para la realización de mapas estratégicos de ruido el uso de software de predicción, que utiliza una combinación de modelos geográficos (sistemas de información geográfica) que incluyen las características topográficas y acústicas de las superficies que forman los obstáculos, junto con los modelos de las fuentes. Se usan modelos de cálculo, recomendados por la Directiva “gestión y evaluación de ruido ambiental” (2002/49/CE), en la ley nacional del ruido (Ley 37/2003) y enumerados por recomendación de la comisión de 06/08/03. Este tipo de software acústico es capaz de predecir la distribución de los niveles generados por las fuentes en sus áreas de influencia.

El elemento básico de la predicción de ruido es el cálculo del nivel de presión sonora producido por una fuente puntual en una determinada posición relativa al receptor puntual. Estos cálculos se realizan mediante algoritmos descritos en estándares y recomendaciones internacionales, como los mencionados en el apartado 4.5.1. Las reglas utilizadas para el cálculo del ruido producido por fuentes puntuales o lineales (carreteras, por ejemplo) vienen implementadas en los paquetes de software de predicción de ruido.

En la actualidad existe un gran número de software de predicción de ruido con los requisitos descritos anteriormente. En el caso de este trabajo se ha utilizado el software de predicción acústica CadnaA en su versión XL.

##### **4.9.2.1. CadnaA**

CadnaA es el software líder a nivel mundial de modelización, cálculo y gestión del ruido ambiental. Puede ser utilizado de forma eficiente a cualquier escala, desde unos simples receptores en un vecindario hasta en complejos proyectos de mapa de ruido en países enteros. El programa es aplicable para varios tipos de emisión como son tráfico rodado, ferroviario y aéreo, así como ruido industrial.

Con CadnaA, las características del programa que son utilizadas en la mayoría de proyectos, como pueden ser las técnicas avanzadas de visualización en 2D y 3D, o todos los formatos de importación de datos, están incluidas en todas las configuraciones, por básicas que sean.

Entre las principales características de CadnaA destacamos:

- a) Amplia aplicación, concepto flexible.
- b) Cálculo de acuerdo a multitud de normas y estándares nacionales e internacionales.
- c) Gran velocidad de cálculo aún en proyectos a gran escala debido al procesamiento multinúcleo y la opción 64bit.
- d) Opciones flexibles de visualización y salida de resultados.

En cuanto a la realización de mapas de ruido podemos destacar varias opciones:

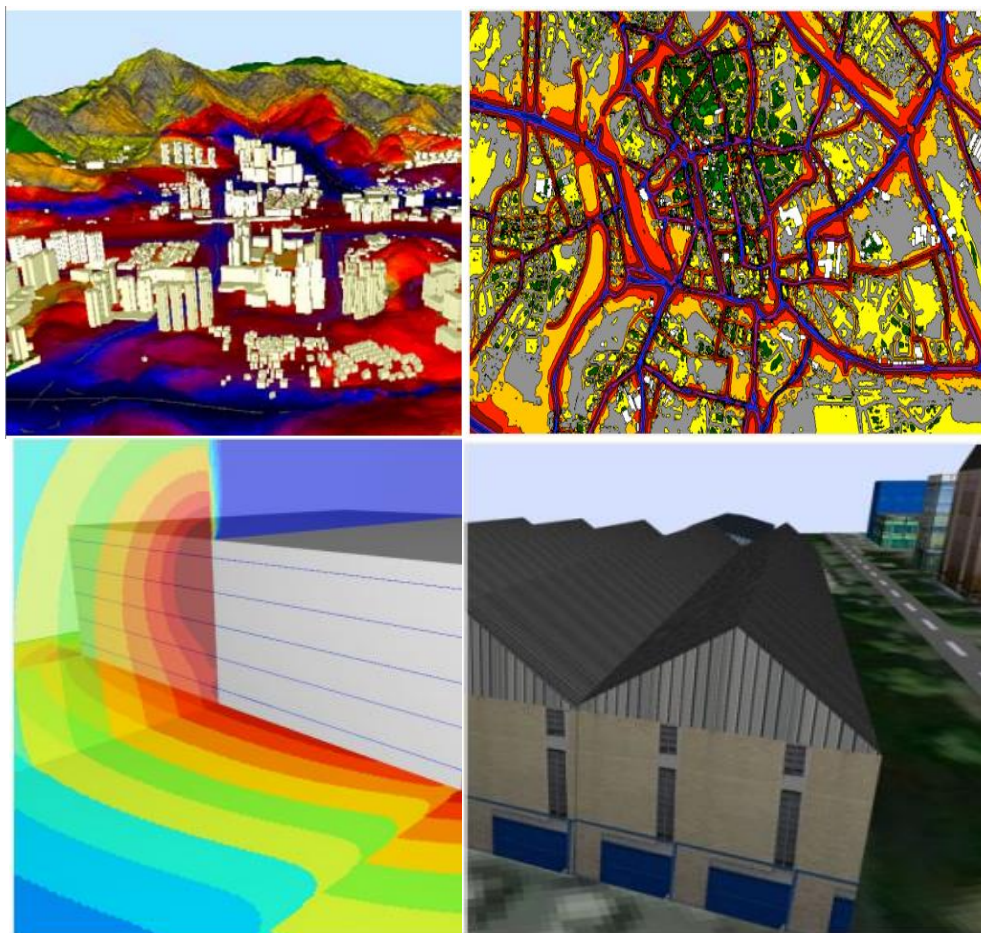
- a) Posibilidad de acelerar el tiempo de cálculo gracias al cálculo distribuido y soporte *multithreading*.
- b) Utilización de toda la memoria RAM disponible con tecnología de 64 bits.
- c) Más de 30 formatos de importación diferentes.
- d) Acceso a todos los atributos de objetos (carreteras, edificios, etc.) tanto en visualización 2D como 3D.
- e) Varias técnicas de evaluación de ruido.
- f) Subdivisión de proyectos en varias secciones que pueden ser calculadas de forma independiente.
- g) Creación, uso y modificación de tablas de resultados.

La posibilidad de importar datos geométricos del terreno y, en muchos casos, de los edificios desde SIG (Sistemas de Información Geográfica) se antoja como una de las características más potentes del software. Entre los formatos de importación de archivos destacamos los que se muestran la figura 15:

Formatos de Importación de Archivos	
Atlas GIS	antiguo software GIS-software de ESRI (hasta 2001)
ArcView	archivo Shape del software GIS ArcView/ArcInfo (de ESRI)
ASCII grid	formato ASCII para datos de puntos de malla
ASCII Objects	formato ASCII aplicable a cualquier objeto de CadnaA (puntual o lineal, abierto o cerrado)
AutoCad-DXF	formato de exportación de geometría de objetos de AutoCad (de Autodesk Inc.)
Building Height points	formato ASCII para puntos de altura de edificios
CityGML	formato de intercambio y almacenamiento de modelos virtuales de ciudades 3D
EDBS	formato usado por las agencias de ordenación en Alemania
GML	formato usado por la Agencia de Ordenación del Reino Unido
GYPINOISE	formato de intercambio de datos CadnaA-GIS
LimA	formato usado por el software LimA
MapInfo	formato usado por MapInfo (de MapInfo Corp.)
MITHRA	formato usado por el software MITHRA
NTF	formato de Transferencia Nacional del Reino Unido
QSI	formato de intercambio de datos de acuerdo con DIN 45687 y ÖAL 36
Sicad	software GIS de AED-SICAD AG
SLIP	formato usado por el software de Ruido en carreteras SLIP
SOSI	formato usado por el software SOSI software (© Agencia de Ordenación Noruega)
SoundPLAN	formato usado por el software SoundPLAN
Stratis	sistema para el diseño de carreteras e ing. civil. (de RIB Software AG)
T-Mobil	formato usado por Deutsche Telekom MobilNet GmbH
Winput-DGM	Formato ASCII usado por la Oficina Bávara de Ordenación, Munich

**Figura 15. Formatos de importación de archivos admitidos por CadnaA.**

En la figura 16 mostramos algunas de las potentes y variadas posibilidades de visualización y presentación de resultados en CadnaA.



**Figura 16. Distintas visualizaciones de resultados en CadnaA.**

CadnaA implementa los métodos de cálculo recomendados del  $L_{den}$  y  $L_{night}$  descritos en el anexo II del Real Decreto 1513/2005. En nuestro caso, y como ya hemos mencionado anteriormente, solo nos interesa el método de cálculo aplicado al ruido del tráfico rodado, que es el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPCSTB)», mencionado en la «Resolución de 5 de mayo de 1995, relativa al ruido de las infraestructuras viarias, Diario Oficial de 10 de mayo de 1995, artículo 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten a la «Guía del ruido de los transportes terrestres, apartado previsión de niveles sonoros, CETUR 1980».



## 5. Desarrollo del mapa de ruido

### 5.1. Fases de desarrollo

Describimos brevemente en este apartado las distintas fases de desarrollo del mapa de ruido. Las fases del proyecto se desarrollan en orden cronológico. Las dos primeras fases ya han sido descritas en el apartado 4.

1. *Primera fase.* Reflexión acerca de los objetivos que se pretendían alcanzar con el presente trabajo y de los pasos necesarios para conseguir su consecución.
2. *Segunda fase.* Estudio previo del estado de la cuestión a partir de fuentes bibliográficas relevantes y de la normativa pertinente. Se complementaron estas referencias con la información proveniente del tutor de la empresa Miguel Ángel Gómez Alonso, el tutor del proyecto Iván González y conversaciones con compañeros de la empresa CECOR S.L. y del catedrático Juan Miguel Barrigón Morillas.
3. *Tercera fase.* Selección del método de muestreo espacial y temporal de las medidas “*in situ*”, así como la selección de los distintos puntos de medida.
4. *Cuarta fase.* Realización de las medidas en Arroyo de la Luz. Estas medidas serán utilizadas para calibrar/validar el modelo del mapa.
5. *Quinta fase.* Recopilación de datos de entrada necesarios para realizar el modelo de la localidad mediante el software de predicción CadnaA.
6. *Sexta fase.* Estudio en profundidad del software CadnaA, así como la realización de diversos casos prácticos mediante la versión *demo* del programa.
7. *Séptima fase.* Modelado del terreno, las edificaciones y las fuentes lineales (carreteras) mediante el software de diseño gráfico *Autocad 2007*<sup>8</sup>. Importación en CadnaA del modelo generado en *Autocad*.
8. *Octava fase.* Cálculo del mapa de ruido de Arroyo de la luz.
9. *Novena fase.* Presentación y discusión de los resultados obtenidos.

### 5.2. Descripción de la zona de estudio

Arroyo de la Luz es un municipio español de la provincia de Cáceres (Extremadura), en la comunidad autónoma de Extremadura. Se sitúa en la comarca y Mancomunidad de Tajo-Salor y limita con el extenso término municipal de Cáceres. Sus dos ríos, el Casillas y el Pontones, son afluentes del Salor.

Con 6206 habitantes según el INE a 1 de enero de 2013, Arroyo de la Luz es el municipio más poblado de su comarca y el décimo de la provincia de Cáceres. La importancia de esta localidad se basa en su proximidad a la ciudad de Cáceres. Arroyo de La Luz es conocido por el Día de la Luz, fiesta de interés turístico regional en honor a la Virgen de la Luz.

A continuación se muestra la ubicación de Arroyo de la Luz en España y en la provincia de Cáceres:

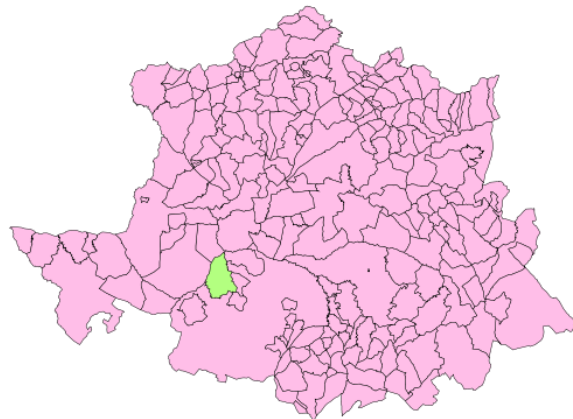
---

<sup>8</sup> <http://www.autodesk.com/>





**Figura 17. Ubicación de Arroyo de la Luz en España. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2014).**

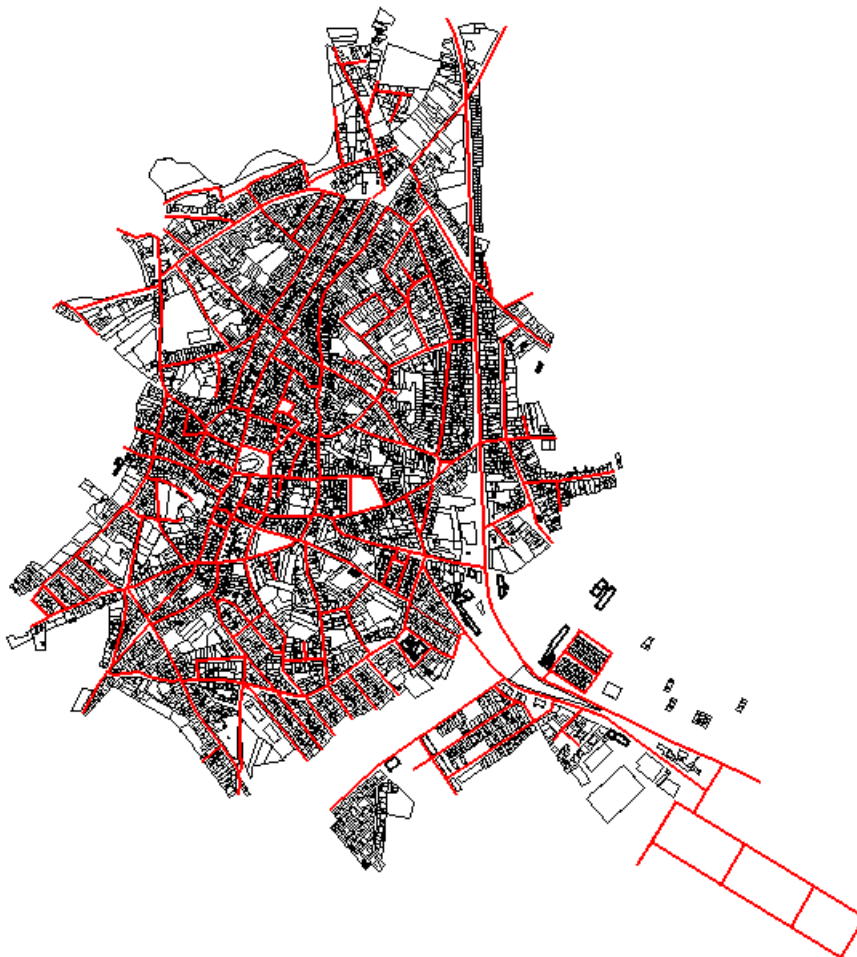


**Figura 18. Ubicación Arroyo de la Luz en la provincia de Cáceres. Fuente: Wikipedia.**



**Figura 19. Delimitación del área de cálculo. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2014)**

Por otra parte, la principal fuente de ruido que tiene incidencia en la localidad de Arroyo de la Luz es el tráfico rodado (Figura 20). Las naves industriales de la localidad no han sido consideradas como fuentes de ruido con una incidencia importante, debido al tipo de actividades realizadas y su localización, principalmente, fuera del núcleo urbano. La localidad no cuenta con fuentes de ruido aeroportuarias o ferroviarias. Las actividades de ocio no se han considerado como fuente de ruido importante, dado que no existen zonas acústicamente saturadas por ruido.



**Figura 20. Ejes viarios modelados (en rojo).**

La principal carretera del pueblo es la EX-207, que une Navas del Madroño al norte con Estación Arroyo-Malpartida y Malpartida de Cáceres al sur. Esta carretera adquiere el nombre administrativo de calle Carretera a su paso por Arroyo de la Luz. Dicha carretera atraviesa la localidad por su parte este, dejando el centro y la mayor parte de la población a su lado oeste.

Esta configuración es habitual en los pueblos de Extremadura, donde una carretera principal atraviesa el pueblo y se convierte en la principal vía de acceso al mismo.

La carretera de Aliseda, la calle Castillo y la calle Charca componen las principales vías que circunvalan la localidad.



La velocidad está limitada a 50 km/h en toda la localidad, si bien es cierto que en algunos tramos los vehículos no circularán a más de 30 km/h debido a la configuración de las calles.

### 5.3. Mediciones realizadas

#### 5.3.1. Muestreo espacial

Para realizar la asignación de vías a cada categoría, partimos de una primera aproximación basándonos en el mapa de Arroyo de la Luz y, posteriormente, realizamos modificaciones basadas en el conteo de tráfico *in situ* en distintas zonas de la localidad, en comentarios de habitantes de la localidad y en la observación directa de los flujos de tráfico a lo largo de los primeros días de mediciones.

En la Figura 21 mostramos el resultado de nuestra primera iteración en el proceso de categorización:

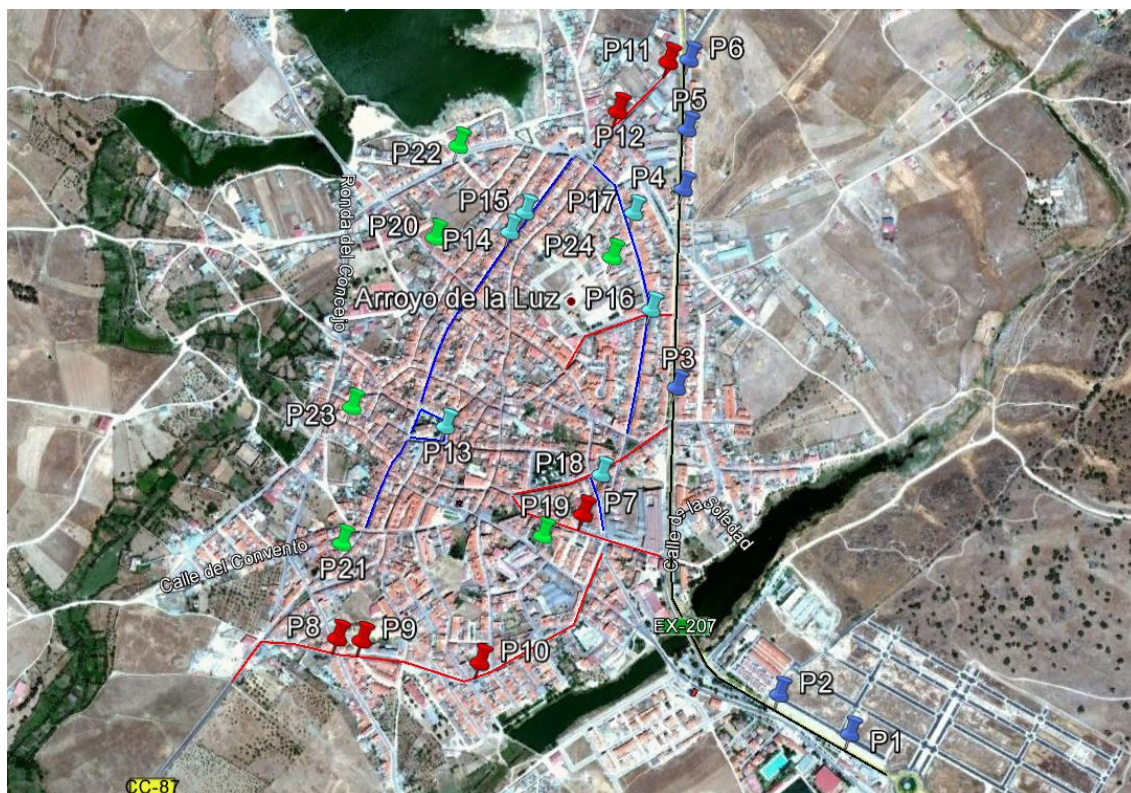


Figura 21. Asignación de categorías a las vías (primera iteración) y puntos de medida.

Para la obtención de la categorización previa se ha seguido el método descrito en los apartados 4.9.1.2. y 4.9.1.3.

No se han tenido en cuenta las calles de categoría Tipo 6, es decir, las peatonales, ya que Arroyo de la Luz no dispone de ellas. No se contó tampoco con vías de Tipo 2, ya que consideramos que la localidad no disponía de este tipo de vía según la hemos definido previamente.

Existe una única vía de Tipo 1, que se corresponde con la carretera EX-207, y es la vía principal que comunica con la ciudad de Cáceres por el sureste y con otros pueblos cacereños (Brozas, Alcántara, etc.) por el noroeste. Este tipo de distribución de un pueblo atravesado por una carretera principal y con el núcleo poblacional en uno de los laterales es muy típico en poblaciones de este tamaño y similar. Los puntos de muestreo seleccionados son [P1-P6].

No existe categoría Tipo 2.

Se han considerado vías de Tipo 3 aquellas que conectan la vía de Tipo 1 con los principales accesos al núcleo urbano, así como la carretera de Aliseda (puntos [P8-P10]) al conocer que es una vía de gran tránsito de vehículos tras conversaciones con gente del pueblo. Los puntos de muestreo seleccionados son [P7-P12].

Se han considerado vías de Tipo 4 aquellas que intercomunican las vías de Tipo 3 y las principales vías del pueblo no consideradas Tipo 3, como la plaza del pueblo y las vías que dan acceso a ella. Los puntos de muestreo seleccionados son [P13-P19].

Las vías de Tipo 5 configuran el resto de la población. En este caso se ha tomado el callejero de la misma y se han seleccionado aleatoriamente 6 vías. Los puntos de muestreo en las vías de categoría Tipo 5 se toman aproximadamente en el centro de las mismas. Los puntos de muestreo seleccionados son [P20-P26]. Esta categoría engloba al mayor número de vías de la ciudad. En algunos estudios esta cifra ronda el 84% del total.

No existe categoría Tipo 6.

Esto nos da un total de 26 puntos de medida repartidos en 6 puntos de medida por categoría.

#### **5.3.1.1. Ejemplo de selección de puntos de muestreo para vías Tipo 3**

Desarrollamos en este subapartado un ejemplo del método introducido en el apartado 4.9.1.3., en este caso para las vías de Tipo 3 que hemos considerado previamente a las definitivas. Describimos a continuación el algoritmo seguido para la selección de los puntos de muestreo:

- a) Para cada tipo o categoría de vía, calculamos la longitud de las mismas mediante la ayuda de la herramienta “regla” de *Google Earth* (esta medida se puede realizar con cualquier SIG una vez que tengamos una cartografía adecuada).
- b) Asignamos a cada vía un identificador único ( $n$ ) y definimos la longitud de cada vía como  $L_n$ . Definimos la distancia acumulada como  $DA_n$

IDENTIFICADOR (n)	LONGITUD	DISTANCIA ACUMULADA
1	$L_1$	$DA_1$
2	$L_2$	$DA_2$
3	$L_3$	$DA_3$
4	$L_4$	$DA_4$
5	$L_5$	$DA_5$
...	...	...
n	$L_n$	$DA_n$

Tabla 3. Definición de variables del algoritmo.

- c) Cada  $L_n$  ha sido obtenido en el paso a). Para obtener la distancia acumulada aplicamos la expresión  $DA_n = DA_{n-1} + L_n$ , donde  $DA_0 = 0$ . En nuestro ejemplo, utilizamos las vías Tipo 3 de nuestra primera iteración. En este caso se trata de 5 vías. El orden de las vías en la tabla es irrelevante.

NOMBRE DE VÍA	IDENTIFICADOR (n)	LONGITUD (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)
Calle Virgen de Guadalupe	1	317	317
Carretera de Aliseda	2	885	1202
Calle San Antón	3	322	1524
Calle Pozo del Hambre	4	248	1772
Calle San Sebastián	5	220	1992

Tabla 4. Método de selección de puntos para vías Tipo 3 (I).

- d) Una vez obtenido el último  $DA_n$  (en el ejemplo  $DA_n = DA_5 = 1992$  metros), es decir la suma total de las distancias de todas las vías, aplicamos una función aleatoria (F) sobre ese valor. Hemos utilizado una función aleatoria que devuelve valores comprendidos entre 0 y 1. Multiplicamos el valor de salida de la función aleatoria por la distancia acumulada (1992 metros en nuestro ejemplo) tantas veces como puntos de medida deseemos (tomamos 6 puntos en nuestro ejemplo). Por lo tanto, obtendremos longitudes comprendidas entre los 0 metros y la distancia acumulada de todas las vías. A continuación mostramos un ejemplo de valores obtenidos (los resultados se han ordenado de manera decreciente).

$F = \text{rand}() * 1992 \text{ (m)}$
1926,86
1800,33
833,12
596,94
564,39
166,03

Tabla 5. Ejemplo de valores obtenidos con la función aleatoria.

- e) Una vez obtenidos los distintos valores de salida de nuestra función aleatoria tenemos que asignar cada valor obtenido a una determinada vía. Para ello, consideramos a cada vía como una parte de una vía única cuya longitud es la

suma de todas ellas (en nuestro ejemplo 1992 metros). La longitud de cada “parte” de esta vía única de cada vía la mostramos en forma de intervalo.

NOMBRE DE VÍA	INTERVALO DE LONGITUD (m)	F = rand()*1992 (m)
Calle Virgen de Guadalupe	[0-317]	1926,86
Carretera de Aliseda	[317-885]	1800,33
Calle San Antón	[1202-1524]	833,12
Calle Pozo del Hambre	[1524-1772]	596,94
Calle San Sebastián	[1772-1992]	564,39
		166,03

Tabla 6. Método de selección de puntos para vías Tipo 3 (II).

- f) Por último, calculamos la longitud a la que hemos de situar cada punto de muestreo (situación del sonómetro) en cada vía restando a los valores obtenidos de la función aleatoria la longitud relativa al inicio de cada vía.

NOMBRE DE VÍA	PUNTOS DE MUESTREO <sup>9</sup>	LONGITUD DESDE EL COMIENZO DE LA VÍA (m)
Virgen de Guadalupe	P7	166
Carretera de Aliseda	P10	516
	P9	279
	P8	247
Calle San Sebastián	P12	155
	P11	28

Tabla 7. Situación de los puntos de muestreo.

Como puede observarse en las tablas 6 y 7, de las 5 vías introducidas para la determinación de los puntos de muestreo sólo en 3 de ellas aparecen dichos puntos. Esto es debido a la aleatoriedad del procedimiento. Tanto en la tabla 7 como en la figura 21 puede observarse que puntos como el P8 y P9 se encuentran muy próximos, por lo que en estos casos se opta por eliminar uno de los dos puntos y asignarlo aleatoriamente a otra vía. En nuestro caso, al solo haber 5 vías de tipo 3 y al haber elegido 6 puntos de muestreo, la probabilidad de asignar un punto de medida por vía es mayor. Cuanto más larga sea la vía, mayor será la probabilidad de que un punto de muestreo se encuentre en la misma (en nuestro caso, la carretera de Aliseda). Este método de selección de puntos de muestreo funciona especialmente bien cuando tenemos muchas vías por cada categoría.

Este procedimiento se aplica a todas las categorías estudiadas a excepción de las vías Tipo 5, donde el punto de muestreo se encontrará aproximadamente en la mitad de la misma.

### 5.3.1.2. Estudio de errores

Si nos fijamos en la figura 21 vemos que existen puntos seleccionados que se encuentran muy cerca y sin intersecciones entre ellos, es decir puntos definidos

<sup>9</sup> Se han nombrado los puntos según se muestran en la figura 10.

anteriormente como “equivalentes”. Estos puntos son las duplas [P4, P5], [P8, P9], [P14, P15]. Por este motivo se optó por suprimir un punto de cada dupla y asignarlo aleatoriamente a otro lugar de la categoría en cuestión (evitando que existan nuevamente puntos equivalentes).

Se procedió a la visita del lugar y a la realización de un conjunto de medidas acorde a lo planificado previamente. Las medidas de sonido iban acompañadas de un conteo del número de vehículos en las vías. Tras varios de estos conteos y medidas se decidió cambiar la planificación original, ya que los flujos de tráfico observados no eran consecuentes en algunos casos con sus categorías asociadas. Nuevas conversaciones con vecinos de la zona y expertos en acústica aconsejaron redefinir la planificación. Ésta se muestra en el apartado 5.3.1.4.

### **5.3.1.3. Caso particular: Vía Virgen de Guadalupe**

Como hemos adelantado en el apartado 4.9.1.2., el concepto de *vía* no es el mismo que el utilizado en un contexto administrativo. Diferentes partes de una misma vía administrativa con diferentes funciones pueden ser asignadas a diferentes categorías.

Vemos a continuación un caso particular: la calle Virgen de Guadalupe. Esta vía es una de las vías de entrada al pueblo con mayor intensidad de tráfico. Si nos fijamos en la figura 21 vemos que la primera iteración de la categorización nos dio un punto de medida (P7 antiguo) distinto al definitivo (P21). Esto se debe a que en un primer momento, la calle Virgen de Guadalupe se consideró toda ella como Tipo 3. Sin embargo, realizando algunas mediciones y conteo de vehículos *in situ*, se observó que el flujo de tráfico (y, por tanto, nivel de presión sonora) disminuía considerablemente desde el punto P21 al punto P7 (figura 22). Esto se explica porque los vehículos se desvían en su mayoría en la intersección previa al cruce de la vía. Esto es imposible de apreciar a partir de un mapa, siendo necesaria una inspección intensiva del lugar bajo estudio.





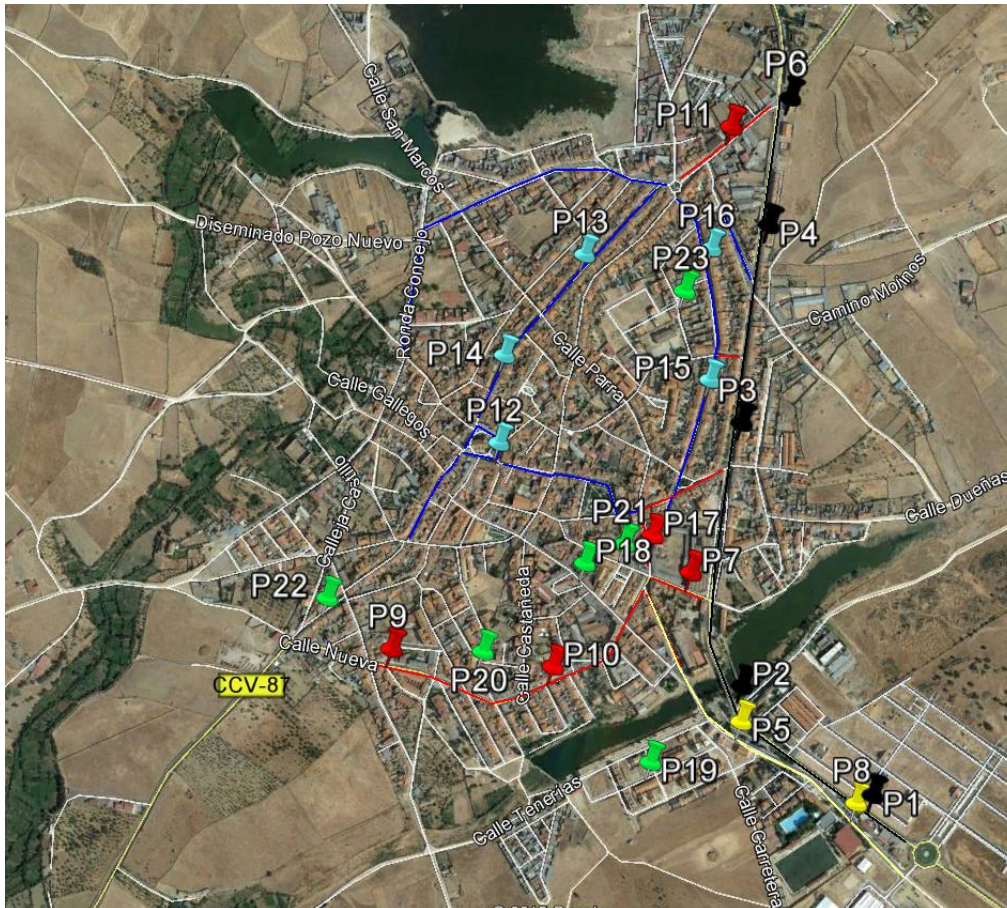
Figura 22. Vía con dos categorías distintas asociadas a la misma.

Se comprueba, por tanto, que una calle puede contener puntos de dos categorías distintas. En nuestro caso, P7 pertenece a categoría Tipo 3 mientras que P21 pasa a ser de Tipo 5.

#### 5.3.1.4. Modificación de la categorización a partir de los errores

Tras las observaciones previamente mencionadas obtuvimos lo siguiente:





**Figura 23. Categorización definitiva y puntos de medida de Arroyo de la Luz.**

Esta es la disposición final de los puntos de medida seleccionados. Se ha recortado el número de puntos por categoría a 5 (antes eran 6) por considerarse suficientemente representativos a excepción de las calles Tipo 4, donde tendremos 6 puntos de medida distintos. El punto P18 se consideró en primer lugar asociado a una calle de Tipo 5. Sin embargo, tras las mediciones y el conteo de tráfico se observó que esta vía se corresponde con un Tipo 4. Se ha introducido como novedad una vía de la categoría Tipo 2, ya que se ha comprobado que tiene un flujo elevado de tráfico y los habitantes de la zona utilizan a menudo esta vía como alternativa a la carretera Tipo 1, ya que suele reducirse el tiempo de acceso a la localidad debido a la inexistencia de semáforos en dicha vía. Cabe destacar que para esta vía solo se harán mediciones en 2 puntos, ya que la misma es de corta longitud y un número mayor de puntos nos llevaría a la aparición de puntos equivalentes y no cumpliríamos con el procedimiento descrito.

En total, se ha reducido el número de puntos de medida de 26 a 23 con la nueva asignación, como puede observarse en la figura 23.

### **5.3.2. Muestreo temporal**

En el apartado 4.9.1.4 discutíamos las distintas posibilidades a la hora de realizar un muestreo temporal de las mediciones. Como hemos indicado en ese apartado, decidimos realizar mediciones de 15 minutos de duración. Estas medidas nos servirán para validar el mapa de ruido. En la Tabla 1 veíamos que en el 95% de los casos la medición se estabiliza en  $\pm 0,5$  dB antes de los 15 minutos.

Las mediciones se realizaron en diferentes días de la semana (únicamente se midió en días laborables) y en distintos intervalos temporales dentro de cada día. Los valores horarios de comienzo y fin de los distintos periodos temporales de evaluación fueron: periodo día de 7:00 a 19:00; periodo tarde de 19:00 a 23:00 y periodo noche de 23:00 a 7:00. Dado que el periodo día es el que más fluctuaciones presenta, se decidió subdividir dicho periodo en cuatro subperiodos temporales: de 7:00 a 10:00, de 10:00 a 13:00, de 13:00 a 16:00 y de 16:00 a 19:00. Dentro de estos cuatro subperiodos temporales se midió aleatoriamente en tres de ellos para, posteriormente, calcular su media. Realizamos esta selección aleatoria de tres intervalos elegidos entre cuatro de acuerdo a un muestreo llevado por Barrigón (2011, p.763) para un análisis de la capacidad del método de categorización. El descarte de un intervalo por cada punto de medida nos permite ahorrar una medición para cada uno de los 23 puntos seleccionados con el consecuente ahorro temporal y de recursos humanos. En la tabla 8 se muestra el resultado del conteo de vehículos en distintos intervalos de tiempo de las medidas de 15 minutos para vías Tipo 3:

NOMBRE CALLE	CODIGO PUNTO	PERIODO	COCHES	V. PESADOS	MOTOCICLETAS	COCHES / hora	PESADOS / hora	MOTOS / hora
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	<b>P7 (LD)</b>	7- 10						
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7 (LD)	10 - 13	22	3	1	88	12	4
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7 (LD)	13 - 16	20	6	3	80	24	12
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7 (LD)	16 - 19	14	4	0	56	16	0
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7 (LE)	19- 23	44	0	1	176	0	4
Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7 (LN)	23 - 7	4	0	0	16	0	0
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	<b>P9 (LD)</b>	7- 10						
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	P9 (LD)	10 - 13	29	0	2	116	0	8
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	P9 (LD)	13 - 16	36	4	2	144	16	8
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	P9 (LD)	16 - 19	19	1	1	76	4	4
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	P9 (LE)	19- 23	29	1	1	145	5	5
Calle Carretera Aliseda (n° 8)	P9 (LN)	23 - 7	0	0	0	0	0	0
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	<b>P10 (LD)</b>	7- 10						
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	P10 (LD)	10 - 13	36	4	4	144	16	16
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	P10 (LD)	13 - 16	40	1	0	160	4	0
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	P10 (LD)	16 - 19	26	2	1	104	8	4
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	P10 (LE)	19- 23	67	0	1	268	0	4
Calle Carretera Aliseda (n° 52)	P10 (LN)	23 - 7	1	0	0	4	0	0
C/ San Sebastián	<b>P11 (LD)</b>	7- 10	9	3	0	36	12	0
C/ San Sebastián	P11 (LD)	10 - 13	15	1	0	60	4	0
C/ San Sebastián	P11 (LD)	13 - 16						
C/ San Sebastián	P11 (LD)	16 - 19	10	1	0	40	4	0
C/ San Sebastián	P11 (LE)	19- 23	16	0	0	64	0	0
C/ San Sebastián	P11 (LN)	23 - 7	1	0	0	4	0	0
C/ Rosales	<b>P17 (LD)</b>	7- 10	46	0	1	184	0	4
C/ Rosales	P17 (LD)	10 - 13	50	1	1	200	4	4
C/ Rosales	P17 (LD)	13 - 16						
C/ Rosales	P17 (LD)	16 - 19	29	2	1	116	8	4
C/ Rosales	P17 (LE)	19- 23	45	2	2	180	8	8
C/ Rosales	P17 (LN)	23 - 7	8	0	0	32	0	0

Tabla 8. Conteo de vehículos para vías Tipo 3.

Este procedimiento se utilizó para todas las vías y para cada tipo de vía. El número de vehículos por hora (suma de vehículos ligeros, vehículos pesados y motocicletas) y el porcentaje de vehículos pesados se muestran en la Tabla 9:

			VEHÍCULOS / HORA			VEHÍCULOS PESADOS		
			DÍA	TARDE	NOCHE	DÍA (%)	TARDE (%)	NOCHE (%)
<b>Tipo 1</b>								
	Calle Carretera	P1	195	220	12	15	2	0
	Calle Carretera	P2	227	164	4	6	0	0
	Calle Carretera	P3	217	196	8	7	0	0
	Calle Carretera	P4	126	88	16	8	0	50
	Calle Carretera	P6	114	180	8	3	0	0
<b>Tipo 2</b>								
	C/ Medardo Cervera (Río)	P5	132	228	16	1	0	0
	C/ Medardo Cervera (mitad)	P8	112	204	20	1	0	0
<b>Tipo 3</b>								
	Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7	97	180	16	18	0	0
	Calle Carretera Aliseda (final) N° 8	P9	125	155	0	5	3	0
	Calle Carretera Aliseda (medio) N° 52	P10	152	272	4	6	0	0
	C/ San Sebastián N° 19	P11	52	64	4	13	0	0
	C/ Rosales	P17	175	196	32	2	4	0
<b>Tipo 4</b>								
	Plaza de la Constitución (Ayto.)	P12	68	120	0	0	0	0
	C/ Virgen de la Luz mitad N° 16	P13	79	56	0	2	0	0
	Calle Luis Chaves N° 40	P14	67	104	16	6	0	0
	Av/ Juan Carlos I (N°113)	P15	52	72	0	0	0	0
	Av/ Juan Carlos I (N°31)	P16	72	44	0	4	0	0
	Calle Regajal	P18	99	84	4	4	0	0
<b>Tipo 5</b>								
	Calle J. Saramago (S/N)	P19	5	0	0	0	0	0
	Calle San Pedro de Alcántara 25	P20	16	8	0	0	0	0
	Virgen de Guadalupe (tramo 2)	P21	16	0	12	8	0	33
	Calle Cruces N° 7	P22	13	0	0	0	0	0
	Calle Albuera N° 23	P23	11	8	0	0	0	0

Tabla 9. Vehículos por hora y porcentaje de vehículos pesados obtenidos.

En la tabla 9 podemos hacernos una idea de la fidelidad del método de categorización que hemos seleccionado. Los mayores flujos de tráfico (y, en consecuencia, los mayores niveles de ruido) los encontramos en las vías Tipo 1, que en nuestro caso es la calle principal que atraviesa la localidad. La vía Tipo 2 podría haber sido incluida en las de Tipo 3, ya que presenta flujos de tráfico similares. Las vías Tipo 4 y Tipo 5 parecen bien definidas en relación a los flujos de tráfico obtenidos. Cabe destacar que la información de las tablas no se ha introducido directamente en el software de predicción sonora, sino que se han observado los datos y no se han incluido aquellos valores que presentan una desviación grande respecto a las vías del mismo tipo. Por ejemplo, el punto P4 de la calle Carretera muestra que el porcentaje de vehículos pesados es del 50%. Si bien esto es cierto para la medición de 15 minutos que se realizó en horario noche, si observamos el porcentaje de vehículos pesados en el mismo periodo temporal para la calle Carretera, vemos que este valor no ha de ser tenido en cuenta o bien se ha de reducir su impacto. Algo parecido nos ocurre en el punto P21, donde obtenemos que el 33% del tráfico es pesado en horario nocturno. Hay que tener en cuenta que para este punto, el número de vehículos por hora es de 12. Esto quiere decir que durante nuestro muestreo de 15 minutos hemos contado 3 vehículos. No podemos concluir, por tanto, que el resultado sea estadísticamente significativo en estos casos debido a la escasez de datos. Este problema se pone de manifiesto especialmente en el horario nocturno, cuando el tránsito de vehículos en localidades pequeñas por ciertas vías se debe más al azar que a un modelo estadístico. Sería recomendable una medición a largo plazo con aforadores automáticos para determinar el flujo tipo de tráfico de las vías en horario nocturno, recursos con los que no contábamos en este proyecto.

Podemos concluir que para flujos muy pequeños de tráfico, una pequeña variación en el número de vehículos que observamos durante el muestreo de 15 minutos puede suponer una gran variación a la hora de acercarnos al valor real de vehículos por hora. Si tenemos en cuenta que cada vez que se dobla el número de vehículos que transitan una determinada vía, estamos añadiendo 3 dB de ruido, los efectos son muchos más claros en calles con muy poco tráfico, como es nuestro caso en Arroyo de la Luz y, en particular, en las vías de Tipo 5 y en las mediciones de horario nocturno.

### 5.3.3. Niveles de ruido obtenidos ( $L_{Aeq}$ )

Los apartados 5.3.1. y 5.3.2. nos han servido para describir las metodologías de muestreo espacial y temporal utilizadas, así como mostrar y discutir los valores de los flujos de tráfico obtenidos para cada vía analizada. En este apartado describiremos las medidas realizadas y los niveles de presión sonora equivalente con ponderación A ( $L_{Aeq}$ ) obtenidos para cada una de ellas.

Se realizaron mediciones en **23 puntos** distintos (su posición de muestra en la Figura 23). Se llevaron a cabo 5 mediciones de 15 minutos en cada punto de medida: 3 corresponden al periodo diurno ( $L_D$ ), 1 al periodo tarde ( $L_E$ ) y 1 al periodo nocturno ( $L_N$ ). Esto nos da un total de **115 mediciones realizadas** y **1725 minutos** (28.75 horas) totales. Las medidas tuvieron lugar durante días laborables (no se incluyeron festivos ni fines de semana) comprendidos entre el 7 de julio de 2012 y el 27 de noviembre de 2013.

Se tuvo en cuenta para todas las mediciones las condiciones meteorológicas. No se midió cuando la velocidad del viento superaba los 3 metros por segundo (de hecho, un día completo de medición tuvo que suspenderse por este motivo. Se pudo comprobar in situ que las hojas de los árboles movidas por el viento, así como la incidencia directa del propio viento en el sonómetro, provocaban súbitos incrementos del nivel de presión sonora). También se comprobó que no existieran fuertes inversiones de temperatura y que no existiera precipitación.

El sonómetro se situó a una distancia superior a 1.5 metros de la fachada o pared más cercana y a más de 1 metro de la vía (siempre que fue posible, puesto que en algunas calles no existía tal espacio de separación). La altura aproximada de cada medida es de 1.5 metros (trípode + sonómetro). Estas distancias cumplen con las recogidas en el anexo IV del real decreto 1367/2007 y en la norma ISO 1996-2. La mayoría de las medidas fueron realizadas con un sonómetro de Tipo 1 de la marca Cesva y modelo SC310 (Figura 24) en modo analizador de espectro en tiempo real y tercios de octava. El tiempo de integración fue de 1 segundo en modo Fast (tiempo de respuesta de 125 ms). Todas las medidas se realizaron con pantalla antiviento y se calibró el sonómetro antes y después de cada medición.



**Figura 24. Sonómetro Cesva SC 310**

La figura 25 muestra la disposición del sonómetro en alguno de los puntos de medida de Arroyo de la Luz:





**Figura 25. Situación del sonómetro en distintos puntos de medida.**

La tabla 10 muestra el índice de ruido  $LA_{eq}$  (nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios) para todos los puntos de medida y para los diferentes intervalos horarios:



			Nivel LAeq (dBA)					
Tipo 1			A (7-10)	B (10-13)	C (13-16)	D (16-19)	E (19-23)	F (23-7)
	Calle Carretera	P1	64,9	64		65,9	64,1	52,7
	Calle Carretera	P2		65	66,1	63,7	63,5	48
	Calle Carretera	P3	67,3		64,2	62,2	60,9	49,1
	Calle Carretera	P4	67,4	64,4		61,2	57,5	59
	Calle Carretera	P6		57,9	57,5	57,7	57,7	46,4
Tipo 2								
	C/ Medardo Cervera (Río)	P5	61,6	56,5		61,2	62,4	55,7
	C/ Medardo Cervera (mitad)	P8		60,1	60,3	59,8	61,3	50,7
Tipo 3								
	Virgen de Guadalupe (tramo 1)	P7		64,9	67,6	62,8	62,9	54,5
	Calle Carretera Aliseda (final) Nº 8	P9		66,7	65,8	64,8	65	29
	Calle Carretera Aliseda (medio) Nº 52	P10		65,8	65,5	65,9	68,5	46,2
	C/ San Sebastián Nº 19	P11	63,6	64,5		58,8	57,3	50,9
	C/ Rosales	P17	63	63,5		62,3	71,3	55,5
Tipo 4								
	Plaza de la Constitución (Ayto.)	P12	53,7		55,5	52,9	59,8	32,6
	C/ Virgen de la Luz mitad Nº 16	P13		60,2	57,8	62,9	58	30,1
	Calle Luis Chaves Nº 40	P14	58,5	63,6		62,1	62,3	53,1
	Av/ Juan Carlos I (Nº113)	P15	56,2		59,6	59,9	57,3	39,3
	Av/ Juan Carlos I (Nº31)	P16	52,3	60,9		61,9	55,8	32,1
	Calle Regajal	P18		64	65,5	58,7	59,6	50,8
Tipo 5								
	Calle J. Saramago (S/N)	P19	43,4	46,6	56		34,9	34,6
	Calle San Pedro de Alcántara 25	P20	50,5	65		53,6	48,3	38,4
	Virgen de Guadalupe (tramo 2)	P21		53,1	52,4	52,3	41,9	60,6
	Calle Cruces Nº 7	P22	53,5		49,6	53,4	41,5	31,9
	Calle Albuera Nº 23	P23	55,5	51,5		53,1	51	41,5

Tabla 10. Niveles de ruido LAeq obtenidos mediante medición.

## 5.4. Método de cálculo

Los flujos de tráfico y los niveles de ruido LAeq obtenidos en el apartado 5.3. nos servirán para calcular y validar el mapa de ruido, respectivamente. El software utilizado para la realización del mapa de ruido será CadnaA de la empresa Datakustic.

### 5.4.1. Datos de entrada

Disponer de unos datos de entrada adecuados para generar el modelo acústico se convierte en uno de los puntos más importantes a la hora de realizar un mapa de ruido. Los datos más importantes en la elaboración de ruido son las fuentes de ruido y datos del entorno acústico. En el caso de Arroyo de la Luz, **la única fuente ruidosa que se ha tenido en cuenta ha sido el tráfico rodado, ya que la localidad no dispone de aeropuerto, estación de ferrocarril ni una importante actividad industrial dentro del núcleo urbano.**

#### 5.4.1.1. Fuente de ruido: tráfico rodado

En el Anexo IV de la Directiva 2002/49/CE se indica que los mapas de ruido en aglomeraciones deben hacer especial hincapié en el ruido procedente de tráfico rodado. Sin embargo, según WG/AEN (2007) los datos del flujo de tráfico no suelen estar disponibles para todas las vías. Aparecen tres posibles soluciones a este problema, las cuáles implican distintos grados de complejidad, precisión y coste. Son las siguientes:

1. Obtener y utilizar datos precisos de flujos de tráfico a partir de un modelo de flujo de tráfico y/o conteos de tráfico para todas las vías, incluidas las vías con un bajo flujo de vehículos.

2. Asignar valores de flujo por defecto para las vías con flujos conocidos o que sean los más probables. Esta solución tiene en cuenta todas las vías.
3. Hacer únicamente el mapa con las vías donde el flujo de vehículos está por encima de una determinada figura. Esta es la solución más directa pero podría llevar a subestimar la exposición al ruido.

WG/AEN recomienda que se utilice la segunda solución, que es la que hemos utilizado en nuestro caso. Este grupo de trabajo ofrece además herramientas para utilizar en los mapas de ruido en caso de que no dispongamos de datos específicos.











Tool 2.5: No traffic flow data available						
Method		complexity	accuracy	cost		
Make traffic counts for each of the three periods: daytime, evening and night time			< 0.5 dB			
Select sample roads and do traffic counts there; extrapolate to other roads of same type			2 dB			
Use official traffic flow data for typical road types.			4 dB			
Use other traffic flow data for typical road types.			4 dB			
Use default values, such as:						
Road type	traffic <sup>20</sup>				4 dB	
	day	evening	night			
Dead-end roads	175	50	25			
Service roads (mainly used by residents living there)	350	100	50			
Collecting roads (collecting traffic from service roads and leading it to & from main roads)	700	200	100			
Small main roads	1,400	400	200			
Main roads	Must undertake traffic counts or produce flows from a traffic model. See section 2.10					

Tabla 11. Posibles opciones para obtener datos de flujo de tráfico. Fuente: WG-AEN (2007, p. 59).

Considerando los recursos disponibles en nuestro proyecto, realizamos una selección de vías y realizamos conteos de vehículos en las mismas, como describíamos en el apartado 5.3.2.

Por otra parte, para la asignación de la velocidad de los vehículos se ha tomado la limitación de velocidad de 50 km/h vigente en todas las vías de Arroyo de la Luz. A los vehículos pesados se les ha asignado también una velocidad de 50 km/h.

El porcentaje de vehículos pesados respecto al total del tráfico se ha obtenido de manera análoga al procedimiento utilizado para obtener el flujo de tráfico de las distintas vías (selección de vías y conteo de vehículos).











Tool 4.5: No heavy vehicle data available				
Method	complexity	accuracy	cost	
<b>Make traffic counts</b> for each of the three periods: daytime, evening and night time		< 0.5 dB		
<b>Select sample roads</b> and <b>do traffic counts</b> there; <b>extrapolate</b> to other roads of same type		< 0.5 dB		
<b>Use official statistics for heavy vehicle rates</b> of different road types published by recognised bodies or authorities		1 dB		
<b>Use other statistical heavy vehicle rates</b> for different road types		1 dB		
Use <b>default values</b> , for example <sup>25</sup> :				
<b>Road type</b>	<b>traffic</b>			
	<b>day</b>	<b>evening</b>	<b>night</b>	
Dead-end roads	2 %	1 %	0 %	
Service roads (mainly used by residents living there)	5 %	2 %	1 %	
Collecting roads (collecting traffic from service roads and leading it to & from main roads)	10 %	6 %	3 %	
Small main roads	15 %	10 %	5 %	
Main roads	20 %	15 %	10 %	
Major main roads	20 %	15 %	10 %	
Trunk roads	20 %	20 %	20 %	
Motorways	25 %	35 %	45 %	
		2 dB		

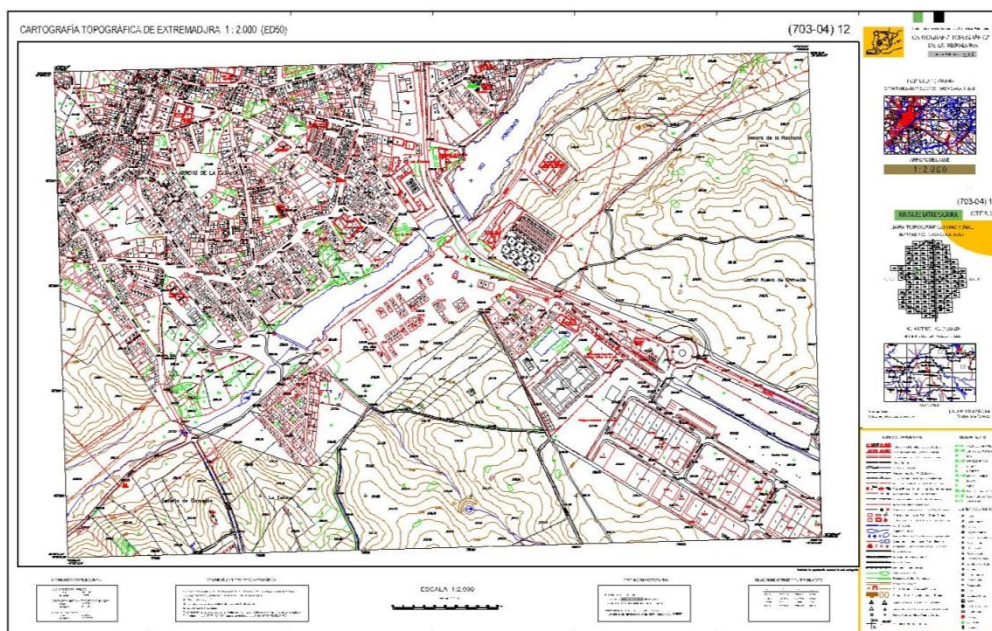
Tabla 12. Posibles opciones para obtener el porcentaje de vehículos pesados. Fuente: WG-AEN (2007, p. 65).

Cabe destacar que se intentó obtener datos de flujos de tráfico, velocidad de las vías, etc., a través del Ayuntamiento y de la Guardia Civil. Estos organismos no poseían los datos solicitados.

#### 5.4.1.2. Modelado del terreno

Otro de los puntos clave en la obtención del mapa de ruido es el modelado digital del terreno (MDT). Por lo tanto, los aspectos más relevantes de la información solicitada giran en torno a la cartografía disponible.

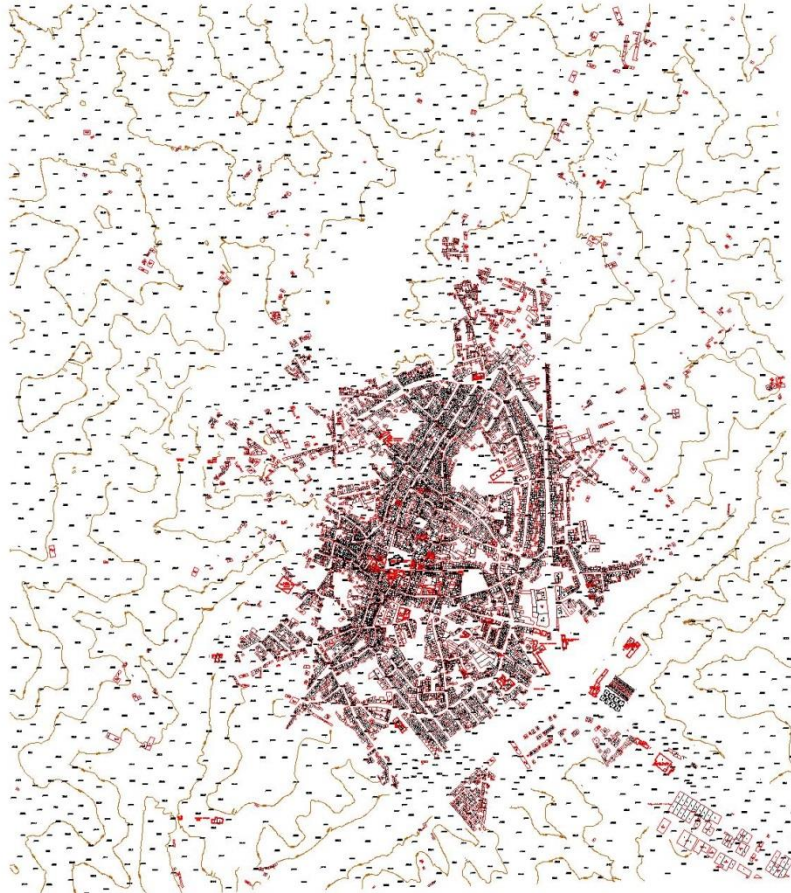
Se compraron 6 hojas en escala 1:2000 conteniendo información geoespacial relativa al término municipal de Arroyo de la Luz a través del Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura, Dirección General de Transportes, Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, de la Junta de Extremadura. Estas hojas estaban en formato DXF.



**Figura 26. Hoja en DXF escala 1:2000 de parte de Arroyo de la Luz. Fuente: Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura, Dirección General de Transportes, Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, Junta de Extremadura.**

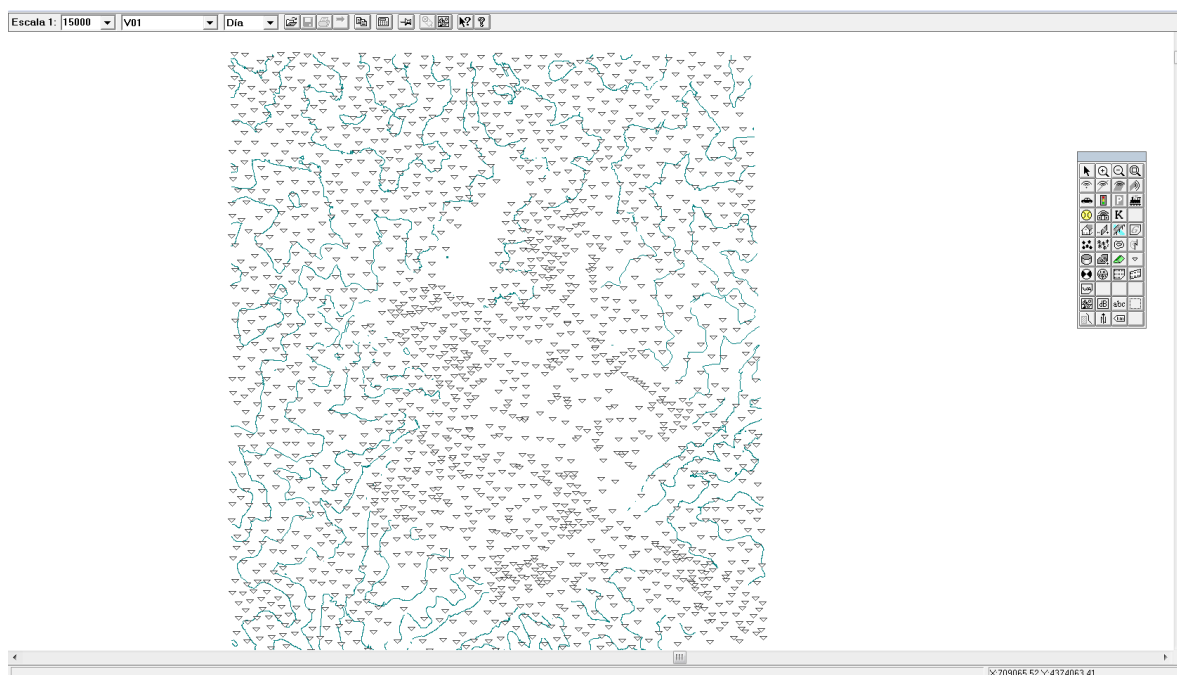
En la Figura 26 se puede apreciar la inmensa cantidad de información cartográfica que incluye cada una de las hojas adquiridas. Se procedió a unir las 6 hojas que conforman el municipio de Arroyo de la Luz para, a continuación, “limpiar” el mapa y quedarnos exclusivamente con las capas que nos interesaban: puntos de cota, curvas de nivel, edificaciones, naves industriales y texto (Figura 27). Estas son las capas que necesitamos para importarlas en el software CadnaA.





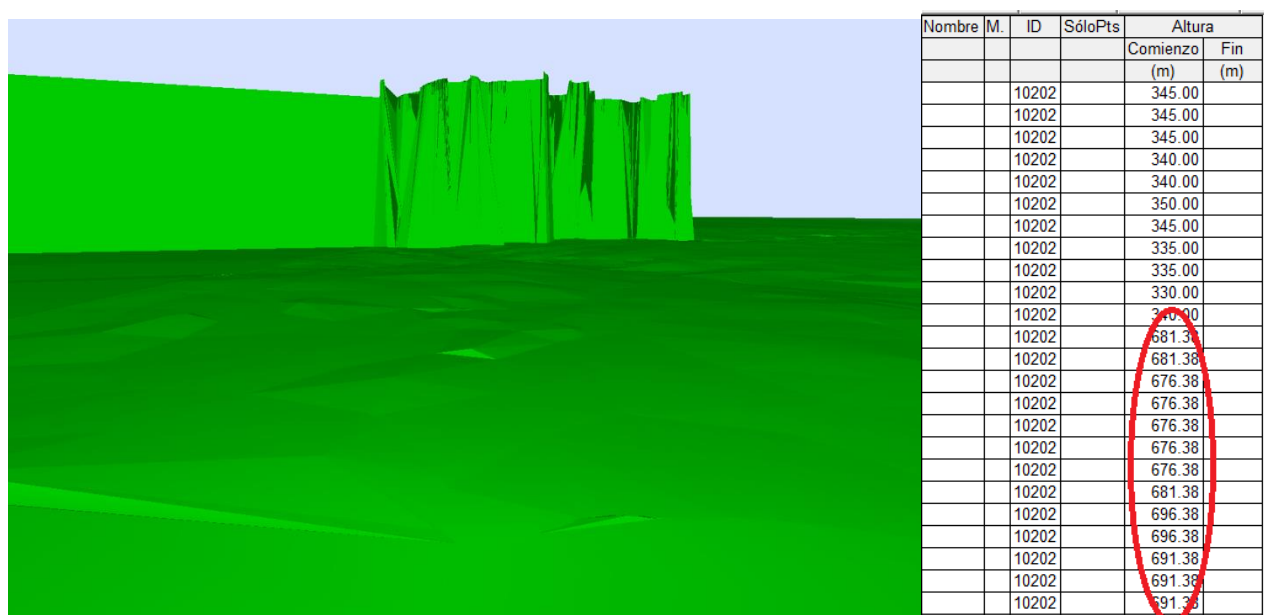
**Figura 27. Puntos de cota, curvas de nivel, edificaciones y naves de Arroyo de la Luz (formato DXF).**

La Figura 28 muestra el resultado de importar en CadnaA las curvas de nivel y los puntos de cota. Se optó por incluir únicamente las curvas de nivel directoras (5 metros), ya que no necesitábamos tanta precisión en el modelo como introducían las curvas de nivel de 1 metro y, de esta forma, reducíamos la carga computacional del cálculo. Además la localidad de Arroyo de la Luz no presenta grandes desniveles, algo que se pudo comprobar al recorrer sus calles durante la campaña de mediciones, así como en la cartografía. Por otra parte, podemos observar que las curvas de nivel no aparecen al entrar en el casco urbano. Esto se debe a que la cartografía adquirida no las incluía.



**Figura 28. Puntos de cota y curvas de nivel directoras en CadnaA.**

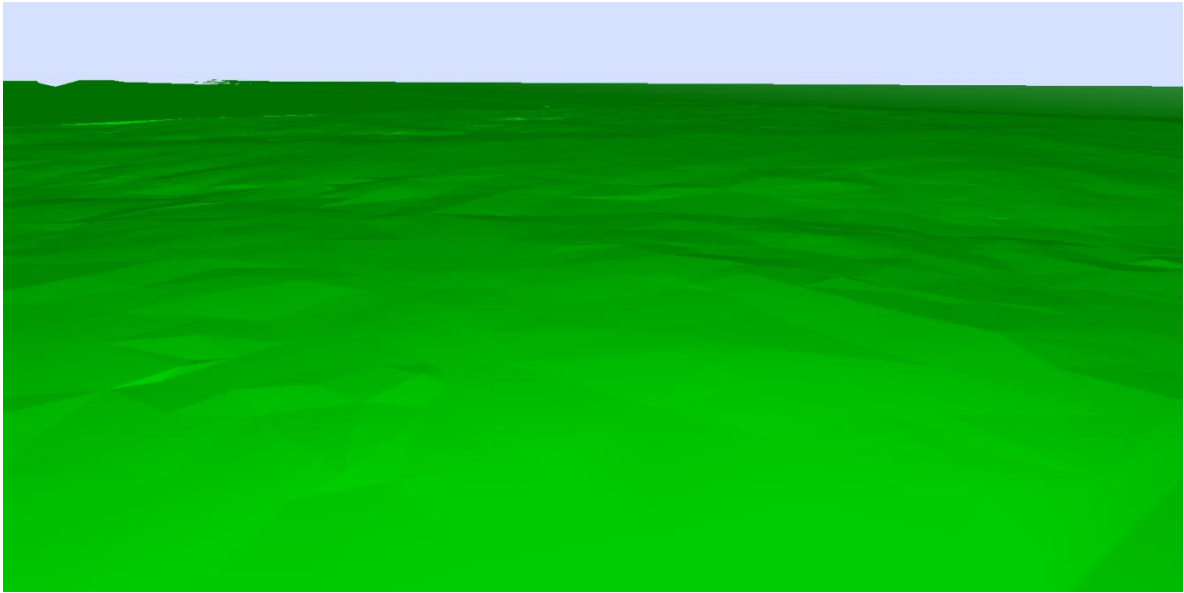
Además, existían en la cartografía original numerosos errores, tanto en puntos de cota como en las curvas de nivel. Esto no se apreció hasta que se levantó el modelo 3D del terreno en CadnaA y se comprobó la aparición de inmensos picos de más de 600 metros de altura (Figura 29), mientras que la localidad está a unos 350 metros de altura con respecto al nivel del mar en Alicante. Hay que tener en cuenta que, si bien los puntos de cota y curvas de nivel tenían un texto asociado con la elevación respecto al suelo, su “atributo altura” no estaba bien definido en algunos casos. Estos puntos fueron suavizados o eliminados del modelo para el cálculo, pues se encontraban en zonas exteriores al casco urbano.



**Figura 29. Errores en las curvas de nivel de la cartografía original.**

Una vez realizados los ajustes comentados, ya poseíamos el modelo digital del terreno (Figura 30). CadnaA realiza el modelado mediante triangulación. Las curvas de

nivel fueron suavizadas (se redujo su número de puntos) mediante una opción que incorpora el software.



**Figura 30. Modelado del terreno de Arroyo de la Luz.**

#### **5.4.1.3. Obstáculos: Edificios**

Dentro de los obstáculos que podemos encontrar en CadnaA están los diques, los puentes, las barreras y los edificios. En nuestro caso, nos vamos a centrar en el modelado de los edificios. Los edificios en Cadna son objetos con paredes verticales con un polígono cerrado como base. El tejado no se considera como reflectante o apantallante.

Este apartado ha sido uno de los más complejos con los que hemos tenido que lidiar en la realización de este proyecto. Para realizar un buen modelado de los edificios es necesario conocer de alguna forma su altura. Por otra parte, la cartografía debería incluir polígonos cerrados para los edificios puesto que, a pesar de que CadnaA permite cerrar edificios automáticamente, surgen infinidad de errores en el modelado.

Cabe destacar que en la cartografía adquirida aparece una capa en formato DXF que contiene las alturas de los edificios en números romanos (I, II, III,...). Sin embargo, nos enfrentamos a dos problemas (Figura 31):

- 1) Las viviendas aparecen en el archivo DXF como polilíneas abiertas, no como polígonos cerrados.
- 2) La disposición de los números romanos no coincide exactamente en el interior de las viviendas.



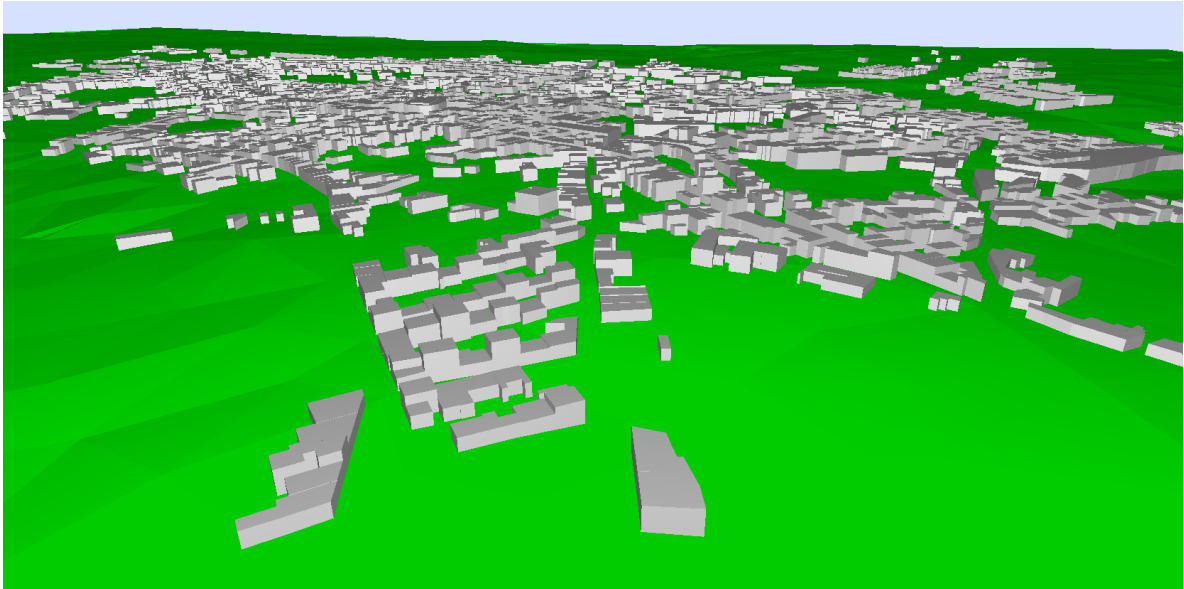
**Figura 31. Problemas con polilíneas y números romanos.**

La solución al primer problema, tras varios intentos, fue adquirir la información cartográfica de las viviendas de Arroyo de la Luz a través de la Sede Electrónica del Catastro (<http://www.catastro.meh.es/>). En este caso, la información del catastro sólo estaba disponible en formato SHP, por lo que hubo que hacer una conversión para poder trabajar con Autocad. Una vez hecho esto, se superpuso la capa del catastro con las restantes capas que ya teníamos en nuestro archivo DXF y se eliminaron las polilíneas del modelo anterior. Ya teníamos las viviendas como polígonos cerrados, con lo que resolvimos el primer problema.

El segundo problema fue más complejo. Lo que se pretendía era obtener una capa de texto en Autocad que contuviera todas las alturas de los edificios, pero encerradas dentro de los polígonos para realizar una posterior conversión con CadnaA. Sin embargo, como puede apreciarse en la Figura 31, muchos de los números romanos no estaban correctamente centrados y no se pudo automatizar de ninguna forma el proceso por lo que hubo de corregirse individualmente cada uno de los más de 5000 polígonos que contenía el catastro y revisar las alturas de los edificios con ayuda de las herramientas Google Maps y Google Earth.

Una vez realizadas las acciones descritas se obtuvo el primer modelo que incluye los edificios de Arroyo de la Luz. En la Figura 32 se muestra el modelo 3D de la localidad.

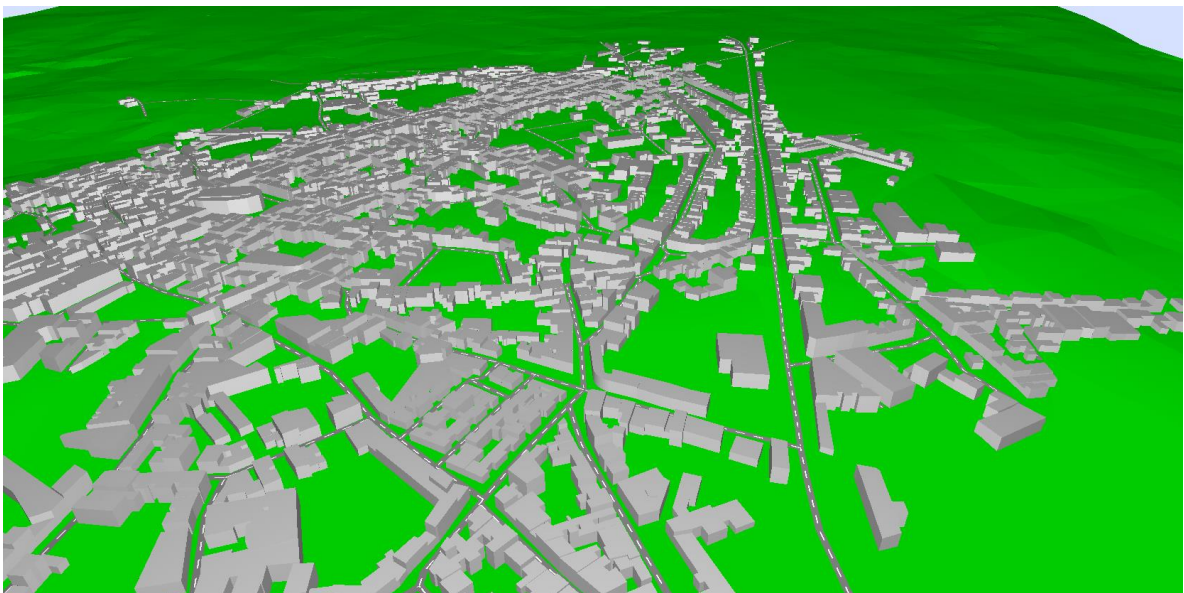




**Figura 32. Inclusión de edificios en CadnaA.**

#### **5.4.1.4. Modelo 3D**

Para completar el modelado en tres dimensiones de la localidad únicamente nos hace falta la inclusión de las carreteras y/o vías de la localidad. Al no poseer la cartografía adquirida los ejes viarios en forma de polilíneas, tuvimos que acudir de nuevo al catastro para obtener esta información. De forma similar al apartado 5.4.1.3., se superpuso la capa de ejes viarios sobre nuestro mapa en Autocad, donde se modificaron los errores que contenía (carreteras que pasan por edificios, vías no incluidas, etc.). El resultado de este último paso nos da el modelo que podemos ver en la Figura 33.



**Figura 33. Modelo final de Arroyo de la Luz (vista parcial).**

### 5.4.2. Configuración

De forma general la configuración del software de predicción CadnaA se fija de la siguiente forma para la realización de los modelos de predicción.

- a) Malla de Cálculo: se establece una malla de cálculo de 10 x 10 metros. Con ello obtenemos una adecuada definición en cuanto a los indicadores de ruido dadas las dimensiones del proyecto.
- b) Altura de Receptores: 4 metros de altura (conforme a lo establecido en normativa).
- c) Error Máximo (dB): se establece en 0 dB.
- d) Periodos de referencia:
  - a. Día (7-19h).
  - b. Tarde (19-23 h).
  - c. Noche (23-7h).
- e) Orden máximo de reflexión: 1.
- f) Radio de búsqueda: 1000 metros. Define una circunferencia alrededor del punto receptor, de manera que sólo las fuentes que se encuentren dentro de las mismas serán tenidas en cuenta para el cálculo del punto receptor.
- g) El terreno se ha considerado como absorbente ( $G=1$ ).
- h) Penalización de cálculo  $L_{den}$ :
  - a. Día: 0 dB.
  - b. Tarde: 5 dB.
  - c. Noche: 10 dB.
- i) Modelo Digital del Terreno (MDT): Triangulación.
- j) Temperatura: 15° c.
- k) Humedad relativa: 75%.

Los parámetros que introducimos para modelizar el tráfico rodado son:

- a) Ancho de la vía y tipo de vía.
- b) Datos de flujo de vehículos, incluyendo porcentaje de vehículos pesados. En nuestro caso incluimos el número de vehículos por hora para cada periodo temporal.
- c) Velocidad media de vehículos ligeros y de vehículos pesados.
- d) Tipo de flujo de tráfico.

### 5.5. Validación del modelo<sup>10</sup>

La validación del modelo se ha realizado a partir de mediciones realizadas en distintas localizaciones del municipio. Estos puntos de medida y sus niveles asociados

---

<sup>10</sup> En este apartado explicamos los pasos necesarios para llevar a cabo la validación final. Sin embargo, hay que dejar claro que antes de esta validación final se realizó otra, a la que podemos llamar calibración del modelo, en la que se observó los resultados de los niveles obtenidos mediante el modelo y mediante mediciones. En aquellos puntos donde existía una diferencia superior a los 3 dB se estudió las hojas de campo para ver si había alguna anotación importante. Tras esta primera validación, se cambió el tráfico introducido en algunas vías aledañas a algunos receptores en el modelo (aquellas vías modeladas por categorización, sin que hubiéramos medido efectivamente en ellas). De esta forma obtuvimos el modelo final.

son los mostrados en el apartado 5.3.3. Los puntos se obtuvieron tras un método de categorización de vías.

Las características de las fuentes sonoras existentes en las proximidades se identificaron durante las medidas realizadas. Dado que la principal fuente de ruido en nuestro caso es debida al tráfico rodado se ha contabilizado el número de vehículos y sus características.

Con los datos tomados en campo durante las mediciones se construyó un modelo en el que los parámetros de cálculo han sido los mismos a los del proceso definitivo. Para validar el modelo se ha procedido a comparar los resultados obtenidos en las mediciones de campo y los valores obtenidos del modelo construido.

#### **5.5.1. Procedimiento seguido para la validación del modelo: tráfico rodado**

Para validar el modelo se ha utilizado el procedimiento descrito en el mapa de ruido de la ciudad de Leganés (Díaz, C., Díaz, F. y Pedrero, A., 2011). El objeto del proceso de validación es confirmar mediante observaciones en campo que se han satisfecho los requisitos establecidos para construir el mapa de ruido. Para ello se han seguido los siguientes pasos:

- a) Selección de los puntos de muestreo (medida).
- b) Toma de muestras (realización de la medida). Esto implica:
  - Registro del nivel sonoro,  $L_{Aeq}$ . Para ello se han seguidos las directrices marcadas en la norma UNE-EN ISO 1996-2.
  - Registro de las características de los focos de ruido que originan dichos niveles.
- c) Creación de un modelo destinado a la validación, utilizando los datos registrados, que refleje la situación medida. El modelo destinado a la validación es en nuestro caso el mismo que el modelo del mapa de ruido.
- d) Validación mediante la comparación del valor modelado ( $L_{mod}$ ) y el medido ( $L_{med}$ ).

Para la selección de los puntos de muestreo sobre los que se han realizado las mediciones acústicas se ha seguido el procedimiento descrito en el apartado 4.9.1..

Para la realización de las mediciones se han elegido periodos de muestreo de 15 minutos de duración. Durante el periodo de medida se ha registrado el  $L_{Aeq}$  y se ha realizado un conteo de los vehículos que circulan por las vías próximas (distinguiendo entre vehículos ligeros, pesados y motocicletas. Las motocicletas y los vehículos ligeros fueron considerados posteriormente como vehículos ligeros). Así mismo se ha anotado cualquier incidencia o circunstancia que pudiera influir en el resultado de la medición.

Se ha realizado al menos una medición (con conteo de tráfico asociado) en cada uno de los periodos de referencia en los cuales se registra actividad (día, tarde y noche). Durante el periodo día se han realizado 3 mediciones para posteriormente promediar energéticamente.

A partir de los datos cartográficos obtenidos (edificios y ejes de las vías de comunicación) y del tráfico observado en cada uno de los periodos en los puntos de

muestreo se ha procedido a establecer un modelo utilizando el software CadnaA y en el que se define un receptor puntual en la misma posición en la que se ubicó el sonómetro durante la medición con objeto de obtener el nivel sonoro modelado.

Para establecer si existen o no discrepancias entre los valores obtenidos en las observaciones de campo y los valores obtenidos en la modelización, se calcula la incertidumbre extendida en cada punto y para la medida, considerando la metodología establecida en la norma ISO 1996-2:2007 y las consideraciones propuestas presentadas en el documento IMA32TR-040510-SP08 del Proyecto Imagine (Imagine Workgroup, 2011). La incertidumbre típica se calcula de la siguiente forma:

$$u(L_{Aeq}) = \sqrt{u_{inst}^2 + u_{cond\_oper}^2 + u_{cond\_meteo}^2}$$

Donde,

$u_{inst}$  es la incertidumbre debida a la instrumentación utilizada e igual a 0,5 dB. Esta incertidumbre para sonómetros tipo 1 (nuestro caso) está fijada en 1 dB en ISO 1996. Para sonómetros tipo 2 este valor aumenta. En el documento IMA32TR-040510-SP08 los valores de incertidumbre estándar son de 0,5 dB para sonómetros tipo 1 y 1,5 dB para sonómetros tipo 2. Por tanto, nuestro valor fijado es el más restrictivo de los dos documentos.

$u_{cond\_oper}$  es la incertidumbre debida a las condiciones de operación e igual a  $u_{cond\_oper} = \frac{10}{\sqrt{n}} dB$  siendo,  $n$  el número de vehículos. Esta fórmula también viene referida en el documento IMA32TR-040510-SP08. Esta incertidumbre se obtiene para el ruido de tráfico rodado cuando medimos el nivel  $L_{Aeq}$ . La fórmula general es  $u_{cond\_oper} = \frac{C}{\sqrt{n}} dB$ .  $C=10$  es el valor que se utiliza para tráfico mixto ( $C=5$  sería para tráfico pesado exclusivamente y  $C=2,5$  para vehículos ligeros exclusivamente).

$u_{cond\_meteo}$  es la incertidumbre debida a las condiciones meteorológicas e igual a 0,5 dB. El documento IMA32TR-040510-SP08 especifica un valor estándar de incertidumbre asociado a las condiciones meteorológicas de 1,5 dB, mientras que hemos elegido un valor más restrictivo (mayor probabilidad de que la diferencia entre valor medido y calculado sea mayor que la incertidumbre expandida).

Se calcula también la incertidumbre expandida, multiplicando por 2 la incertidumbre típica.

$$u_{ext}(L_{Aeq}) = 2u(L_{Aeq})$$

La validación del modelo se realiza comparando, para cada muestra obtenida, el valor medido ( $L_{med}$ ) con el valor modelado ( $L_{mod}$ ). El criterio de validación adaptado se basa en la incertidumbre de la medida, siendo éste

$$|L_{med} - L_{mod}| \leq u_{ext}(L_{Aeq})$$

El dato de incertidumbre utilizado se corresponde con la incertidumbre expandida  $u_{ext}(L_{Aeq})$  calculado con un factor de cobertura  $k=2$ , que garantiza un nivel de confianza del 95%. Esto quiere decir que el valor real de la medición se encuentra, con un 95% de probabilidad, en el margen de valores  $[L_{med} +$

$u_{ext}(L_{Aeq}), L_{med} - u_{ext}(L_{Aeq})$  ]. Por esta razón, cabe esperar un número máximo de incumplimientos del 5% según el criterio establecido. Cabe citar que el criterio adoptado es más restrictivo que la realidad, puesto que se está suponiendo que el modelo generado presenta una incertidumbre nula, lo cual no es cierto.

### **5.5.2. Resultado de la validación**

La tabla<sup>11</sup> 13 muestra los resultados de las mediciones realizadas y de los calculados por el modelo elaborada en cada uno de los puntos de muestreo. La diferencia (en valor absoluto) de ambos se compara con el valor de la incertidumbre.

---

<sup>11</sup> Cuando no se han contado vehículos consideramos 1 vehículo para que la fórmula de la incertidumbre tenga sentido.

<b>Punto</b>	<b>Periodo</b>	<b>LAeq calc.</b>	<b>LAeq med.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Vehículos</b>	<b>Incertidumbre</b>	<b>Cumplimiento</b>
<b>P1</b>	<b>Día</b>	64,4	65	-0,6	48,7	4,3	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	61,2	64,1	-2,9	55	4,2	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	47,8	50,5	-2,7	3	12	<b>SÍ</b>
<b>P2</b>	<b>Día</b>	68,1	65	3,1	56,7	4,1	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	64,8	63,5	1,3	41	4,5	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	51,2	48	3,2	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P3</b>	<b>Día</b>	68,4	65,1	3,3	54,3	4,2	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	64,9	60,9	4	49	4,3	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	51,2	49,1	2,1	2	14,5	<b>SÍ</b>
<b>P4</b>	<b>Día</b>	62,1	65	-2,9	31,7	4,8	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	62,6	57,5	5,1	22	5,3	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	49,3	59	-9,7	4	10,5	<b>SÍ</b>
<b>P5</b>	<b>Día</b>	62,3	60,3	2	33	4,7	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	63,6	62,4	1,2	57	4,1	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	52,1	55,7	-3,6	4	10,5	<b>SÍ</b>
<b>P6</b>	<b>Día</b>	63,5	57,7	5,8	28,7	4,9	<b>NO</b>
	<b>Tarde</b>	63,2	57,7	5,5	45	4,4	<b>NO</b>
	<b>Noche</b>	52,1	46,4	5,7	2	14,5	<b>SÍ</b>
<b>P7</b>	<b>Día</b>	69,8	65,5	4,3	24,3	5,2	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	66,7	62,9	3,8	45	4,4	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	56,3	54,5	1,8	4	10,5	<b>SÍ</b>
<b>P8</b>	<b>Día</b>	62,4	60,1	2,3	28	4,9	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	62,6	61,3	1,3	51	4,2	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	52	50,7	1,3	5	9,5	<b>SÍ</b>
<b>P9</b>	<b>Día</b>	66,5	65,8	0,7	31,3	4,8	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	66,7	65	1,7	38,8	4,5	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	31,3	29	2,3	1	20,3	<b>SÍ</b>

<b>P10</b>	<b>Día</b>	67,1	65,7	1,4	38	4,5	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	67,2	68,5	-1,3	68	4	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	30,6	30,4	0,2	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P11</b>	<b>Día</b>	66,2	62,9	3,3	13	6,4	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	62,5	57,3	5,2	16	5,9	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	50,5	50,9	-0,4	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P12</b>	<b>Día</b>	63,3	54,2	9,1	17	5,8	<b>NO</b>
	<b>Tarde</b>	65,2	59,8	5,4	30	4,8	<b>NO</b>
	<b>Noche</b>	30,3	32,6	-2,3	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P13</b>	<b>Día</b>	65,5	60,8	4,7	19,6	5,5	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	62,9	58	4,9	14	6,2	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	36,3	30,1	6,2	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P14</b>	<b>Día</b>	66,5	61,9	4,6	16,6	5,8	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	65,6	62,3	3,3	26	5	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	57,6	53,1	4,5	4	10,5	<b>SÍ</b>
<b>P15</b>	<b>Día</b>	61,3	58,9	2,4	13	6,4	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	62,8	57,3	5,5	18	5,7	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	32	39,3	-7,3	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P16</b>	<b>Día</b>	61,6	59,9	1,7	18	5,7	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	63,1	55,8	7,3	11	6,8	<b>NO</b>
	<b>Noche</b>	23,5	32,1	-8,6	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P17</b>	<b>Día</b>	67,7	63	4,7	43,7	4,4	<b>NO</b>
	<b>Tarde</b>	69,2	71,3	-2,1	49	4,3	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	59,4	55,5	3,9	8	7,8	<b>SÍ</b>
<b>P18</b>	<b>Día</b>	65,8	63,6	2,2	24,7	5,1	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	63,1	59,6	3,5	21	5,4	<b>SÍ</b>
	<b>Noche</b>	50	50,8	-0,8	1	20,3	<b>SÍ</b>
<b>P19</b>	<b>Día</b>	48,4	51,9	-3,5	1,2	18,5	<b>SÍ</b>
	<b>Tarde</b>	43,6	34,9	8,7	1	20,3	<b>SÍ</b>

	Noche	31,8	34,6	-2,8	1	20,3	SÍ
P20	Día	57,4	60,7	-3,3	4	10,5	SÍ
	Tarde	54,3	48,3	6	2	14,5	SÍ
	Noche	40,4	38,4	2	1	20,3	SÍ
P21	Día	60,1	52,6	7,5	4	10,5	SÍ
	Tarde	52	41,9	10,1	1	20,3	SÍ
	Noche	58,9	60,6	-1,7	3	12	SÍ
P22	Día	53,4	52,5	0,9	3,3	11,5	SÍ
	Tarde	48	41,5	6,5	1	20,3	SÍ
	Noche	34,5	31,9	2,6	1	20,3	SÍ
P23	Día	55	53,7	1,3	2,7	12,6	SÍ
	Tarde	53,9	51	2,9	2	14,5	SÍ
	Noche	22,8	41,5	-18,7	1	20,3	SÍ

Tabla 13. Validación de los puntos de medida.



### 5.5.3. Valores de incumplimiento como resultado de la validación

Podemos observar en la mayoría de los puntos del mapa de ruido cumplen con el modelo de validación utilizado. Sin embargo, existen puntos donde la incertidumbre expandida es mayor que la diferencia entre las mediciones y los cálculos del modelo. Explicamos a continuación las posibles causas de este hecho para cada punto de interés.

- P6 (día y tarde). Se observa en la tabla 9 niveles calculados por CadnaA superiores en unos 6 dB respecto a las mediciones para los tres periodos (día, tarde y noche). Observamos en la figura 34 que el sonómetro introducido en el modelo está a un metro y medio de la fachada de una vivienda. Sin embargo, en la medida real el sonómetro se situó en una zona donde no había ningún tipo de obstáculo, como puede observarse en la figura 35. En dicha figura puede apreciarse que el sonómetro situado en el modelo se encuentra cerca de la curva isófona de 64 dB (para el periodo día). Un desplazamiento hacia la situación real de la medida situaría el sonómetro en una curva isófona de 61 dB. Vemos que existen 3 dB de diferencia entre la situación en el modelo y la situación real. Esta diferencia es probablemente debida a las reflexiones del sonido en las fachadas frente a su inexistencia en campo abierto. Los valores obtenidos en la situación real estarían dentro de los límites que establece la incertidumbre expandida para los periodos día y tarde y reduciría la diferencia aún más para el periodo noche, donde no existía incumplimiento.

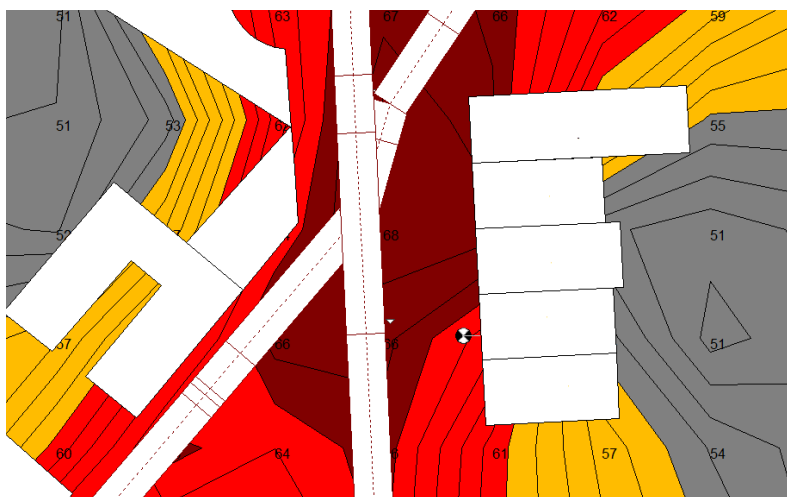
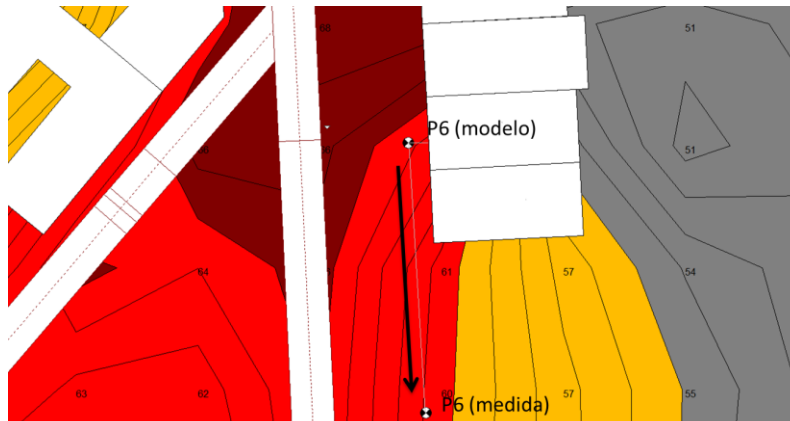


Figura 34. Situación del sonómetro en el punto 6 en el modelo (periodo día).



**Figura 35. Situación del sonómetro en el punto 6 en el modelo y en el lugar de la medición (periodo día).**

- P12 (día y tarde). En este caso el sonómetro estaba situado en la plaza de la Constitución, uno de los puntos de confluencia del pueblo. Se observa en la tabla 9 una diferencia entre el nivel calculado y el nivel medido de +9,1 dB (para una incertidumbre expandida de 5,8 dB) y +5,4 dB (para una incertidumbre expandida de 4,8 dB). Una vez consultadas las hojas de campo, no se han detectado anomalías importantes que pudieran justificar estos valores. Sin embargo, si nos fijamos en las aportaciones parciales de las carreteras modeladas al nivel obtenido en el punto 12 (Figura 36), las calles Rafael Chaparro y calle Ricos son las que más nivel sonoro aportan en el conjunto, aparte de la propia plaza de la Constitución (Figura 37). Si bien se han utilizado datos de un aforo manual de 2005 para la calle Rafael Chaparro, es posible que los flujos de tráfico asignados a estas dos vías estén sobreestimados. Un descenso en ambas vías a la mitad del flujo inicial asignado reduciría considerablemente el nivel calculado para el punto 12, permitiendo estar por debajo del nivel de incertidumbre expandida. Otra posible explicación de la sobreestimación sería la velocidad media introducida en el modelo. Si bien se ha tenido en cuenta el límite de 50 km/h, se observó que los vehículos no pasaban de 30 km/h, por lo que la velocidad media sería incluso inferior a ésta.

Emisor		Aportación Parcial															
Nombre	M.	ID	P12														
			Total	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Día	31.5	63	125	250
Plaza Constitución	Calle 060	63.9				50.0	53.9	56.9	59.9	57.1	51.9	52.3		48.3	52.4	55.3	58.3
C/ Rafael Chaparro	Calle 102	53.2				39.1	43.2	46.3	49.3	46.3	41.1	53.7		39.4	43.7	46.7	49.7
C/ Ricos	Calle 074	50.7				36.6	40.7	43.7	46.7	43.8	38.6	52.4		38.3	42.4	45.4	48.4
C/ Germán Petit	Calle 061	35.8				22.4	23.3	27.2	32.1	30.2	24.1	33.1		20.0	22.1	25.3	29.2
C/ Hermanos Caba	Calle 114	34.9				21.9	23.7	26.6	31.1	28.8	23.1	32.1		19.6	22.3	24.0	27.5
C/ Luis Chaves	Calle 116	32.3				21.4	21.2	22.0	28.6	26.6	20.4	30.4		20.0	21.2	20.7	26.2
C/ San Gregorio	Calle 059	28.2				14.8	14.1	16.8	24.2	23.8	17.6	25.0		12.3	13.2	15.8	20.7
C/ Castillo	Calle 037	23.5				14.6	13.9	15.7	19.7	15.7	5.6	20.6		11.5	11.5	13.3	16.7
C/ Regalal	Calle 063	22.0				10.5	12.1	15.0	18.2	14.5	6.6	22.7		11.2	12.9	15.8	18.9
Plaza Divino Morales	Calle 069	20.8				8.2	11.1	14.0	17.1	13.2	4.7	19.4		6.9	9.9	12.8	15.7
C/ Gabino Gracia	Calle 129	20.4				7.3	7.7	11.2	16.0	15.6	9.1	22.1		9.3	10.0	13.3	17.7
C/ Parra	Calle 099	19.6				7.9	9.9	12.7	15.9	11.7	1.8	18.7		7.1	9.4	12.1	15.0
Ronda Concejo	Calle 135	19.6				12.7	11.3	11.9	15.1	10.3	-0.8	16.9		9.8	9.1	9.5	12.2
Calle Carretera P3	Calle 204	19.6				9.1	10.9	13.1	15.7	10.5	-3.0	20.6		10.2	12.1	14.3	16.8
C/ Santa Ana	Calle 117	18.5				6.6	8.2	11.2	14.8	11.4	4.3	18.0		6.0	7.9	10.8	14.2
C/ Aliseda	Calle 031	18.4				8.2	9.5	11.9	14.6	9.7	-2.9	18.3		8.0	9.5	11.8	14.4
C/ Virgen de guadalupe 2	Calle 068	18.4				5.8	8.6	11.6	14.8	10.9	2.6	13.3		0.6	3.7	6.6	9.5
C/ Barrial de Santa Ana	Calle 104	18.1				5.5	8.2	11.2	14.3	10.7	3.1	18.3		5.7	8.5	11.4	14.5
C/ Charca	Calle 112	17.5				10.9	10.0	10.4	12.5	7.1	-7.3	17.4		10.6	10.2	10.5	12.3
C/ Francisco Pizarro	Calle 101	17.3				6.9	8.4	10.5	13.2	9.2	0.8	17.4		7.0	8.6	10.7	13.2
C/ Rodríguez de la Fuente	Calle 078	16.4				4.0	7.1	9.9	12.7	8.3	-2.4	14.1		1.8	5.0	7.7	10.4
C/ Gabriel y Galán	Calle 121	15.4				4.5	5.5	8.2	11.7	7.8	-1.3	14.9		4.0	5.3	7.9	11.2
C/ Castañeda	Calle 052	15.1				4.8	5.5	8.2	11.3	7.2	-2.1	13.9		3.6	4.5	7.1	10.1
C/ Valencia	Calle 076	14.3				2.3	4.0	7.0	10.4	7.3	0.7	16.1		4.1	5.9	8.8	12.2
C/ Tenerías2	Calle 033	14.1				5.2	5.3	7.3	10.2	5.2	-7.5	13.8		4.8	5.1	7.1	9.8
C/ Juan Carlos I	Calle 073	14.1				4.3	5.6	7.7	10.1	4.9	-8.1	13.2		3.4	4.9	6.9	9.2
C/ Francisco Pizarro	Calle 100	13.7				2.0	4.3	7.0	10.0	5.9	-3.3	13.8		2.1	4.6	7.2	10.0
Calle Carretera P6	Calle 205	13.6				5.6	5.8	7.3	9.2	3.0	-14.4	12.8		4.7	5.1	6.5	8.2
C/ Escuelas graduadas	Calle 044	13.5				3.5	4.0	6.4	9.6	5.8	-2.3	15.2		5.1	5.7	8.1	11.2
Calle Carretera P1	Calle 203	13.1				2.7	4.3	6.9	9.2	3.5	-11.8	14.0		3.6	5.3	7.9	10.1
C/ Santa Teresa de Jesús	Calle 124	13.0				2.0	3.0	4.0	8.4	7.4	0.8	14.9		4.0	5.3	6.2	10.3
C/ Oscura	Calle 113	12.7				-0.7	2.6	5.6	8.9	5.7	-0.4	12.6		-0.8	2.5	5.6	8.8
C/ Carlos Barriga2	Calle 023	12.6				1.1	3.6	6.3	8.9	3.8	-9.0	10.8		-0.7	2.0	4.6	7.0
C/ Huerto Plata	Calle 134	12.5				4.3	3.6	4.8	8.3	4.3	-5.9	13.5		5.2	5.0	6.1	9.1

Figura 36. Aportaciones parciales de las vías modeladas al nivel calculado en el sonómetro P12.

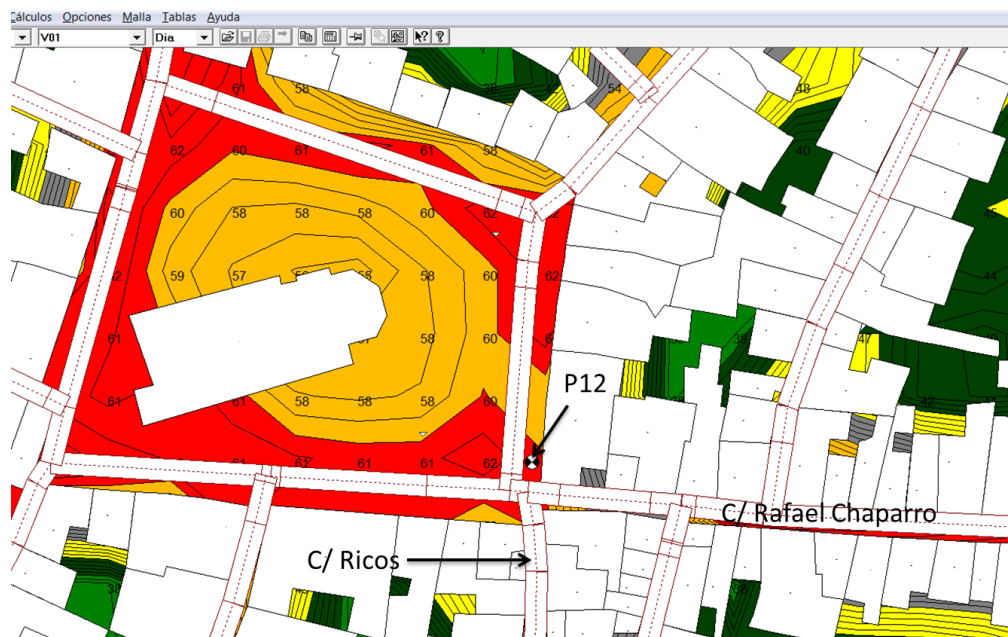


Figura 37. Situación del sonómetro en el punto 12 en el modelo (periodo día).

- P16 (tarde). En la figura 38 podemos apreciar que el sonómetro en el modelo se encontraba cerca de una línea isófona de 62 dB frente a una determinada vivienda. Es probable que en la realidad se encontrara situado frente a una vivienda colindante (elipse roja) donde observamos una zona de variación de líneas isófonas entre 2 dB y 4 dB inferior. De esta forma, se trataría de un pequeño error en el posicionamiento del sonómetro en el modelo de cálculo, si bien no tiene incidencia real al poder situar el sonómetro en la zona indicada. De esta forma todas las medidas (día, tarde y noche) serían inferiores a la incertidumbre expandida.

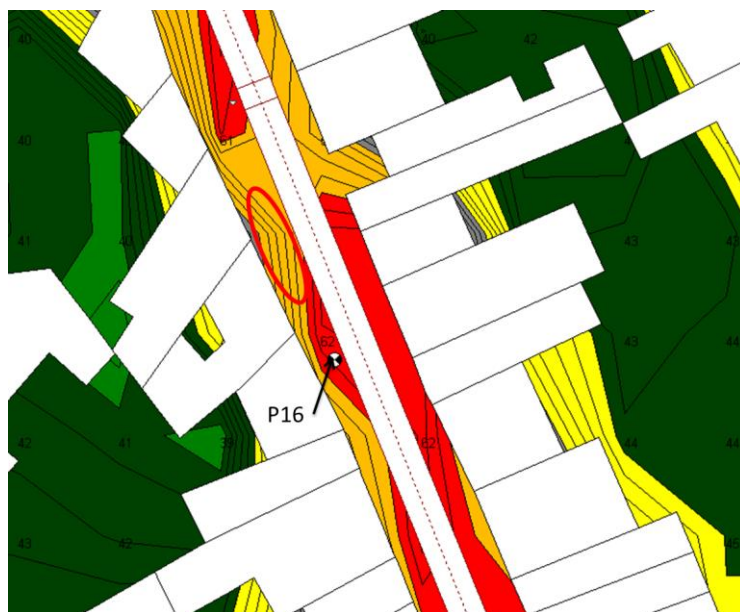


Figura 38. Situación del sonómetro en el punto 16 en el modelo (periodo tarde).

- P17 (día). Sucede algo análogo a la situación descrita en el punto 16. En este caso,  $|L_{med} - L_{mod}| = 4,7 \geq u_{ext}(L_{Aeq}) = 4,4$ . Los 0,3 dB se corrigen con una ligera variación de la posición del sonómetro en el modelo.

## 5.6. Resultado del modelo

Tras elaborar el modelo para el tráfico rodado, que en nuestro caso se corresponde con el modelo total debido a que es la única fuente de ruido existente, se procedió a realizar un análisis de los niveles sonoros obtenidos, de la población y de los edificios sensibles afectados.

Siguiendo la normativa europea y española hemos determinado el número estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes<sup>12</sup>, a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta:

$L_{den}$ : 55-59 dB, 60-64 dB, 65-69 dB, 70-74 dB, >75 dB  
 $L_n$ : 50-54 dB, 55-59 dB, 60-64 dB, 65-69 dB, >70 dB

Además, se ha determinado los edificios sensibles potencialmente afectados, entendiendo por tales, aquellos de uso docente o sanitario.

### 5.6.1. Población afectada

Tanto la directiva europea 2002/49/CE como el real decreto 1513/2005 indican que ha de realizarse una estimación de la población afectada por los diferentes niveles de ruido. Sin embargo, no se especifica en dicha normativa el método para la estimación

<sup>12</sup> Si bien solo es obligatorio indicar la estimación para los valores de  $L_{den}$  y  $L_n$ , hemos incluido para ampliar la información los valores de  $L_d$  y  $L_e$ .

de la población. Para realizar este cálculo acudimos nuevamente a la guía de buenas prácticas de WG-AEN.







Tool 19.1: Number of residents of the mapping area or sub-areas			
Method	complexity	accuracy	cost
<ul style="list-style-type: none"> <li>Determine the number of residents in each residential building</li> <li>Compare the total with national or regional population statistics and, if required, realign individual dwelling population figures to total population figures using Tool 19.4</li> </ul>			
If the entire residential floor area of the mapping area, or sub-areas, is known:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Divide the entire residential floor area of the mapping area, or sub-area, by number of residents = <u>floor area/resident</u></li> <li>Obtain building area from a GIS and multiply this by the number of storeys (if not known, use Tool 19.3) = <u>residential floor area of the building</u></li> <li>Divide <u>residential floor area of the building</u> by <u>floor area/resident</u>  = <u>number of residents of building</u></li> <li>Compare with national or regional population statistics and, if required, realign individual dwelling population figures to total population figures using Tool 19.4</li> </ul>			
If the entire residential floor area of the mapping area, or sub-areas, is unknown:			

Tabla 14. Cálculo del número de residentes del área mapeada. Fuente: WG/AEN (2007,p. 88)

La tabla 14 nos muestra dos opciones para estimar el número de residentes del área de estudio. Dado que conocemos el número de residentes de la localidad de Arroyo de la Luz (6292 habitantes en 2012 según el INE) nos basamos en el proceso descrito en la tabla. El software CadnaA nos permite realizar una estimación de manera automática según este proceso.

Una vez realizada la estimación de la población, podemos indicar el porcentaje de la población afectada por los distintos niveles de ruido. La población afectada por niveles de ruido superiores a 55 dB en horario diurno se corresponde con el 63,2 % mientras que en horario vespertino este porcentaje se reduce al 52,6 %. En el horario nocturno, el porcentaje de población afectada por niveles de ruido superiores a 50 dB es del 13%. A continuación mostramos las tablas donde se muestra el número de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas estas expuestas a los correspondientes niveles de  $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$  y  $L_{den}$ :

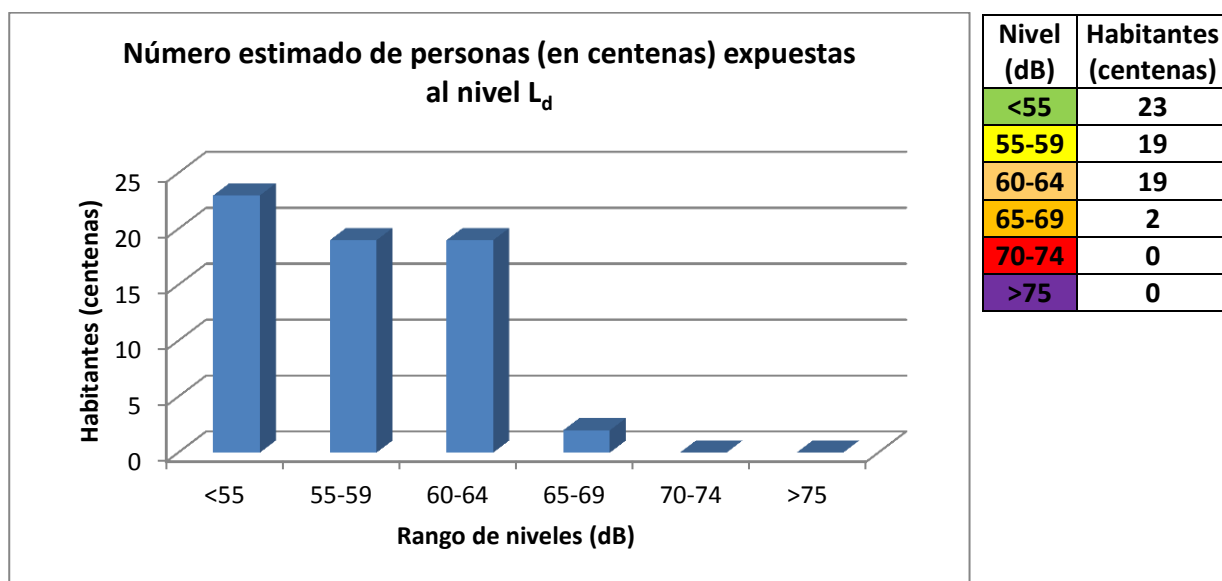


Figura 39. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel  $L_d$ .

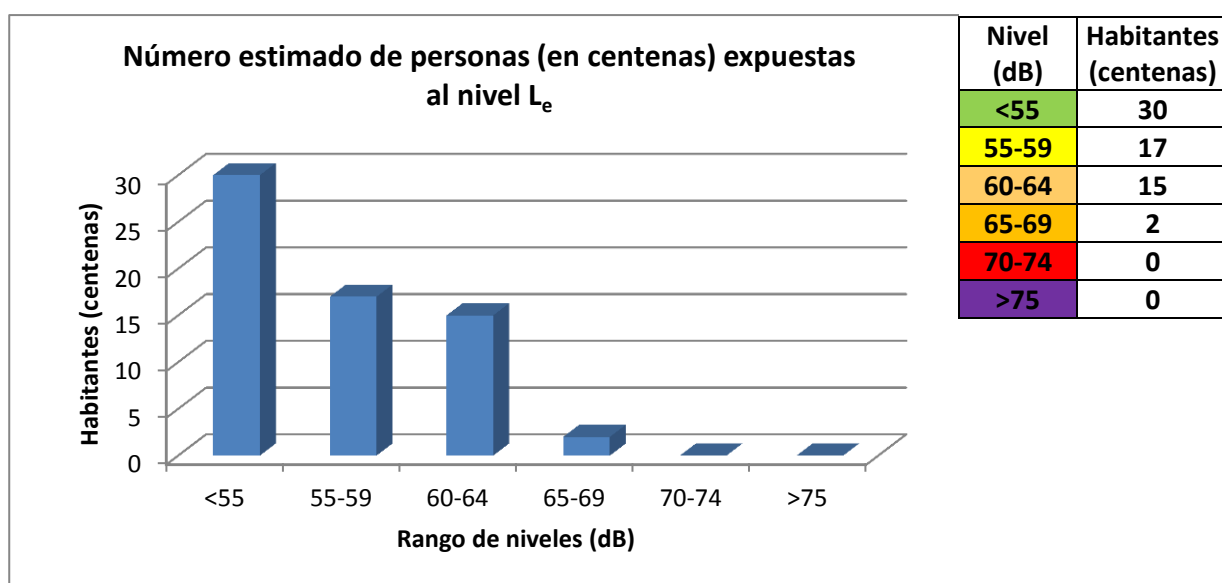


Figura 40. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel  $L_e$ .

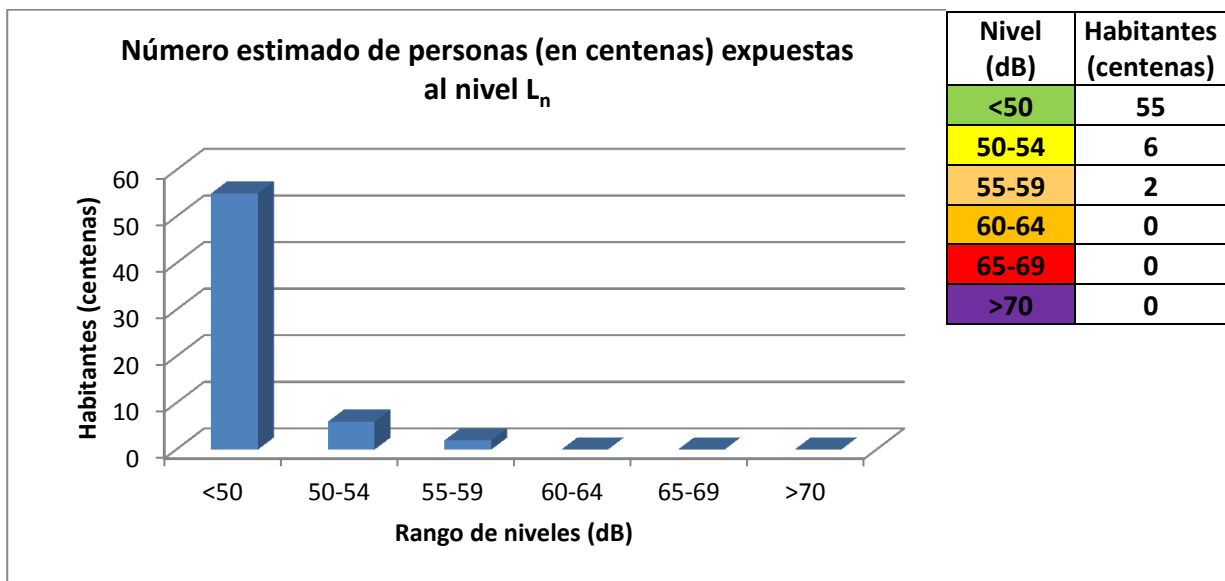


Figura 41. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel  $L_n$ .

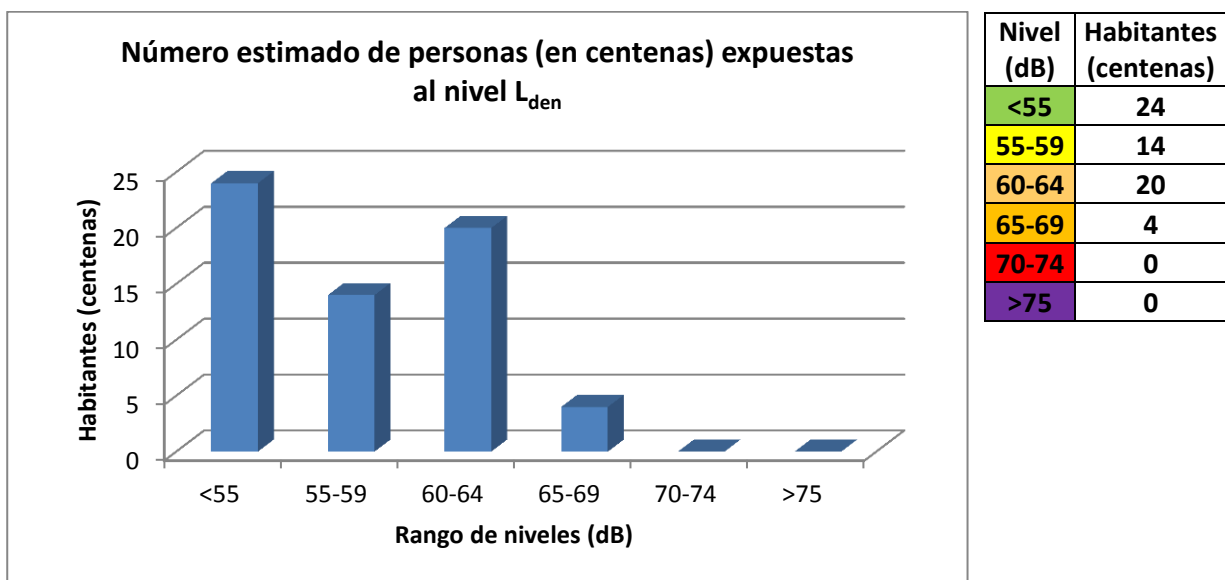


Figura 42. Número estimado de personas (en centenas) expuestas al nivel  $L_{den}$ .



A partir de la figura 42 podemos obtener que el 61,1 % de los habitantes de Arroyo de la Luz supera los 55 dB para el índice  $L_{den}$ . Para el índice  $L_n$  (figura 41) solo un 13% de la población está afectada por niveles de ruido superiores a 50 dB. Para hacernos una idea de los niveles soportados por la población podemos comparar los valores obtenidos con la Tabla A del anexo II del real decreto 1367/2007, donde se especifican los objetivos de calidad acústica (tabla 15):

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_d$	$L_e$	$L_n$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

**Tabla 15. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.**  
Fuente: Real decreto 1367/2007.

En nuestro caso, si excluimos los edificios sensibles descritos en el apartado 5.6.2., el tipo de área acústica en el que nos encontramos es de tipo *a*, es decir, sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial. Para este tipo de área el objetivo de calidad acústica es que no se superen los 65 dB para los índices  $L_d$  y  $L_e$ , ni los 55 dB para el índice  $L_n$ .

Los 65 dB se superan en horario diurno ( $L_d$ ) por un 3,2 % de la población y en horario vespertino ( $L_e$ ) por un 2,6 %. Los 55 dB se superan en horario nocturno ( $L_n$ ) por 3,6 % de la población. El objetivo de los puntos donde se alcanzan estos niveles es la reducción a los límites indicados en la tabla 15. Si nos fijamos en el mapa de ruido, estos puntos donde se superan los objetivos de calidad acústica se corresponden principalmente con la calle Carretera, la calle Rodríguez de la Fuente y la calle Castillo, que son las que soportan un mayor flujo de vehículos. Hay que comentar, sin embargo, que en la calle Castillo no se realizaron medidas de conteo de tráfico, sino que se le asignó un flujo en función de su tipología. Sería conveniente realizar un conteo de vehículos en esta calle de cara a futuras revisiones del mapa de ruido.

Por otra parte, en el Anexo nº 3 del decreto 19/1997, de 4 de febrero, de Reglamentación de Ruidos y Vibraciones de la Junta de Extremadura, modificado el 25 de marzo de 1997, se describen los diferentes ambientes acústicos clasificándolos en poco ruidoso, ruidoso o intolerable:

N.R.	Zona/uso	Hora	CLASIFICACIÓN - valores en dB(A)		
			Poco ruidoso	Ruidoso	Intolerable
N.R.E.	Hospitalario	D	$N < 40$	$40 \leq N < 45$	$N \geq 45$
		N	$N < 38$	$38 \leq N < 42$	$N \geq 42$
	Residencial/	D	$N < 58$	$58 \leq N < 61$	$N \geq 61$
	Comercial (Sin tráfico)	N	$N < 48$	$48 \leq N < 51$	$N \geq 51$
	Residencial/	D	$N < 63$	$63 \leq N < 66$	$N \geq 66$
	Comercial (con tráfico)	N	$N < 53$	$53 \leq N < 56$	$N \geq 56$
	Industrial	D	$N < 73$	$73 \leq N < 76$	$N \geq 76$
		N	$N < 58$	$58 \leq N < 61$	$N \geq 61$
	Hospitalario	D y N	$N < 33$	$33 \leq N < 36$	$N \geq 36$
	Residencial	D	$N < 38$	$38 \leq N < 41$	$N \geq 41$
N.R.I.		N	$N < 33$	$33 \leq N < 36$	$N \geq 36$
	Admón-Ofic.	D y N	$N < 43$	$43 \leq N < 46$	$N \geq 46$
	Aulas	D y N	$N < 43$	$43 \leq N < 46$	$N \geq 46$
	Salas de Lectura	D y N	$N < 38$	$38 \leq N < 41$	$N \geq 41$

Tabla 16. Clasificación del entorno acústico según su nivel de ruido. Fuente: Decreto 19/1997

Teniendo en cuenta que nos encontramos en un área residencial/comercial (con tráfico), la población de Arroyo de la Luz soporta los siguientes niveles de ruido:

Periodo	Poco ruidoso (%)	Ruidoso (%)	Intolerable (%)
	$N < 63 \text{ dB}$ ( $N < 53 \text{ dB}$ )	$63 \leq N < 66 \text{ dB}$ ( $53 \leq N < 56 \text{ dB}$ )	$N \geq 66 \text{ dB}$ ( $N \geq 56 \text{ dB}$ )
Día	87,5	11,8	0,7
Tarde	91,8	6,3	1,9
Noche	(94,3)	(4,2)	(1,5)

Tabla 17. Porcentaje de población afectada por el ruido en función del periodo del día y según la clasificación que recoge el decreto 19/1997.

Como podemos observar en la tabla 17, alrededor de un 90% de la población de Arroyo de la Luz habita en un entorno poco ruidoso.

### 5.6.2. Edificios sensibles

En este apartado presentamos los resultados que corresponden a la afección por ruido de los edificios sensibles de la localidad, entendiendo como tales los centros educativos y hospitalarios. Encontramos 2 centros educativos y 1 centro hospitalario en Arroyo de la Luz. Los datos los obtenemos a partir de la evaluación de edificios realizada en CadnaA. Seleccionamos el mayor nivel registrado en la fachada más expuesta para cada indicador. De esta forma obtenemos:

$L_d$		$L_e$	
Nivel (dB)	Centro hospitalario/docente expuesto	Nivel (dB)	Centro hospitalario/docente expuesto
<55	0	<55	0
55-59	Colegio Nuestra Señora de los Dolores	55-59	0
60-64	I.E.S. Luis de Morales Centro de Salud	60-64	I.E.S. Luis de Morales Colegio Nuestra Señora de los Dolores Centro de Salud
65-69	0	65-69	0
70-74	0	70-74	0
>75	0	>75	0

Tabla 18. Máximo nivel  $L_d$  y  $L_e$  en la fachada más expuesta del edificio sensible.

$L_n$		$L_{den}$	
Nivel (dB)	Centro hospitalario/docente expuesto	Nivel (dB)	Centro hospitalario/docente expuesto
<50	Centro de Salud	<55	0
	Colegio Nuestra Señora de los Dolores	55-59	0
50-54	I.E.S. Luis de Morales	60-64	I.E.S. Luis de Morales Colegio Nuestra Señora de los Dolores Centro de Salud
55-59	0	65-69	0
60-64	0	70-74	0
65-70	0	>75	0
>70	0		

Tabla 19. Máximo nivel  $L_n$  y  $L_{den}$  en la fachada más expuesta del edificio sensible.

Observamos que se superan los 60 dB para el periodo de mañana y vespertino para la mayoría de los edificios sensibles y los 50 dB en el periodo nocturno para el I.E.S. Luis de Morales (lo cual no es importante, al no impartirse docencia en este periodo). Si bien se superan los límites de la tabla 11 para cumplir los objetivos de calidad acústica, un análisis en profundidad con el programa CadnaA nos permite observar que los límites se superan por muy poco (1 dB como máximo) en puntos concretos de las fachadas más expuestas.

Un ejemplo de la situación acústica para el nivel  $L_{den}$  del Instituto de Enseñanza Secundaria Luis de Morales se muestra en la figura 43.



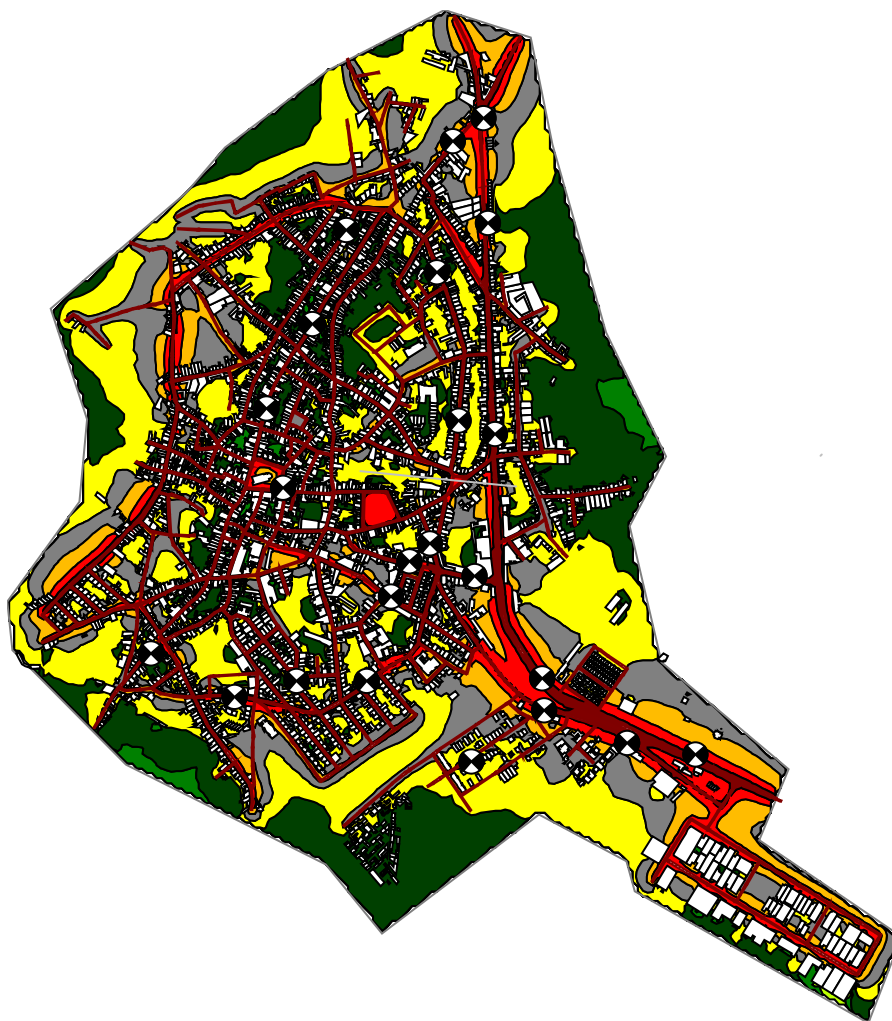


Figura 44. Mapa de niveles sonoros. Tráfico rodado.  $L_{den}$ .

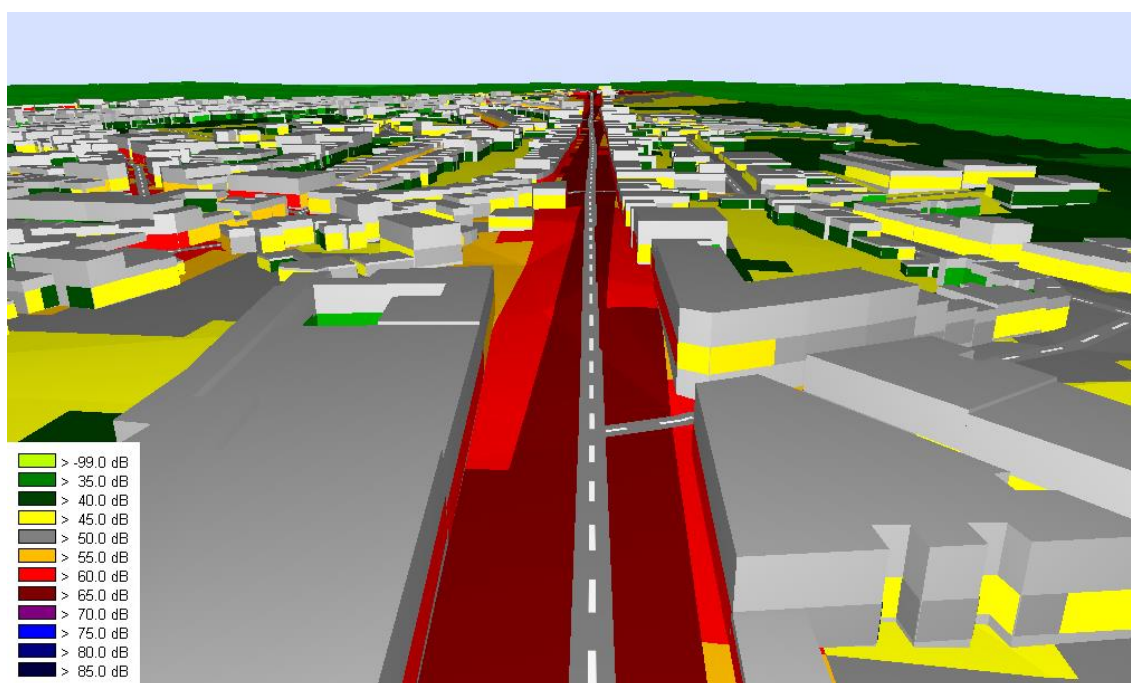


Figura 45. Vista parcial del mapa de ruido (3D). Tráfico Rodado.  $L_{den}$ . Afectación de fachadas (vista desde calle Carretera).

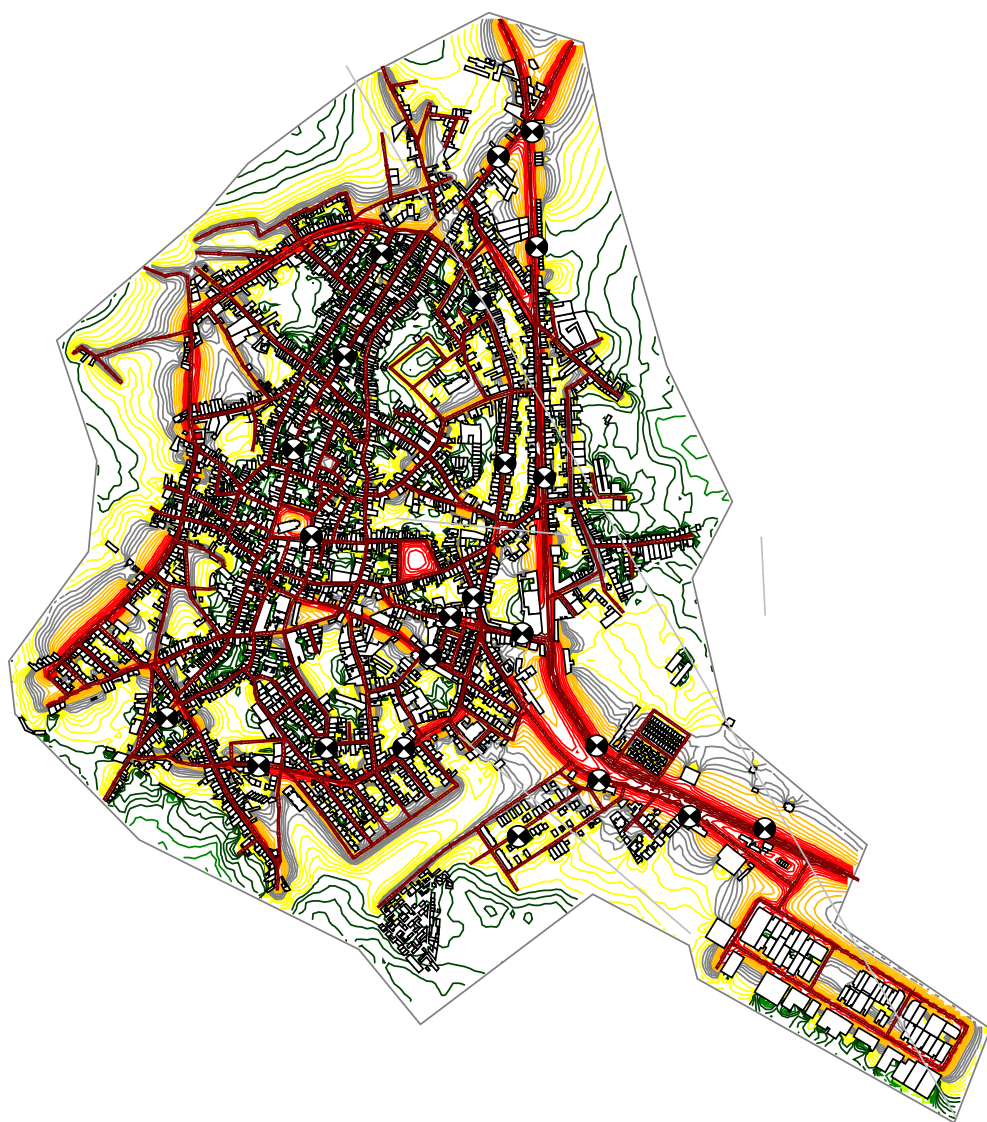


Figura 46. Mapa de isófonas de nivel sonoro. Tráfico rodado.  $L_{den}$ .



## 5.7. Propuesta preliminar de Plan de Acción

Si bien no hemos definido la elaboración de un Plan de Acción como uno de los objetivos de este proyecto, describimos en este apartado las particularidades de un Plan de Acción y las medidas básicas que se suelen aplicarse para la minimización del ruido (y reproducibles en la localidad de Arroyo de la Luz).

El Real Decreto 1513/2005 indica en su Artículo 10 que los planes de acción están dirigidos a solucionar las cuestiones relativas al ruido y sus efectos, y en su caso, a su reducción. Las administraciones competentes han de elaborar, de acuerdo con los requisitos mínimos establecidos en el anexo V del Real Decreto (anexo II de este documento), los planes de acción correspondientes a las aglomeraciones, a los grandes ejes viarios, y a los grandes ejes ferroviarios situados en su territorio, y determinarán las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los valores límite, o de aquellos otros criterios elegidos por dichas administraciones.

En Arroyo de la Luz se han venido realizando diversas actuaciones relacionadas en la lucha contra el ruido. En el Anexo I mostramos el capítulo referente a perturbaciones por ruido y vibraciones de Ordenanza Municipal de Arroyo de la Luz del año 2005 (vigente en la actualidad). Dado que el tráfico rodado es la principal fuente de ruido de la localidad, nos interesa el apartado destinado a los ruidos procedentes de vehículos de motor de dicha Ordenanza:

- a) *Tanto en la vía pública como en el interior de edificios, debe impedirse que por uso de motores, bocinas u otros elementos sonoros, pueda alterarse la normal convivencia ciudadana, lo mismo durante el día que en horas nocturnas.*
- b) *Queda prohibido el uso de bocinas o señales acústicas dentro de los núcleos de población, salvo en los casos de inminente peligro de atropello o colisión, o que se trate de servicios de urgencia.*
- c) *La intensidad del ruido que exceda de los límites autorizados por las vigentes normas de tráfico, y el continuado funcionamiento de motor innecesaria o intencionalmente, así como la utilización de los medios acústicos habituales de los vehículos en zonas urbanas, darán lugar a la correspondiente sanción.*
- d) *Se prohíbe la circulación de vehículos a motor con el llamado “escape libre”, o con silenciadores no eficaces, incompletos, inadecuados, deteriorados o con tubos resonadores.*
- e) *Todo vehículo de tracción mecánica deberá tener en buenas condiciones de funcionamiento el motor, la transmisión, carrocería y demás componentes del mismo capaces de producir ruidos y vibraciones, y especialmente el dispositivo silenciador de los gases de escape, con el fin de que el nivel de ruido emitido por el vehículo al circular o con el motor en marcha, no exceda de los límites que establece la presente Ordenanza.*
- f) *En los casos que se afecte notoriamente a la tranquilidad de la población, se podrá señalar zonas o vías en las que algunas clases de vehículos a motor no puedan circular a determinadas horas. Se prohíbe producir ruidos innecesarios debidos a un mal uso o conducción violenta del vehículo, aunque esté dentro de los límites máximos admisibles.*

Las actuaciones que se pueden llevar a cabo son:



- Revisión de la Ordenanza Municipal y cumplimiento de la misma en lo referente a ruidos y vibraciones.
- Delimitación de Zonas 30 (zonas donde la velocidad máxima permitida es de 30 km/h) principalmente en las cercanías de los edificios sensibles (centro de salud, Instituto de Enseñanza Secundaria,...).
- Limitación del tráfico pesado en la calle Carretera. Se ha observado que una de las principales fuentes de ruido en esta zona donde se superan los niveles de calidad acústica es debida a este tipo de tráfico. Además los badenes instalados en dicha vía incrementan los picos de ruido debido a los golpes que generan las cargas de los vehículos pesados al pasar por ellos.
- Fomentar el uso de medios de transporte silenciosos (bicicletas, vehículos eléctricos,...)
- Reordenar el tráfico para evitar que las calles Rosales / Rodríguez de la Fuente sean las vías más transitadas y con un mayor nivel de ruido de la localidad.
- Plantear la instalación de pantallas acústicas en la calle Carretera (esta opción no se contempla en las calles Rosales / Rodríguez de la Fuente por la configuración de las mismas).
- Sustituir el tipo de firme por otro fonoabsorbente en aquellas vías donde se superan los límites de calidad acústica.

## 6. Discusión

Los mapas estratégicos de ruido son de obligatoria realización para las ciudades de más de 100000 habitantes, aquéllas que se consideran aglomeraciones. En el caso de este proyecto, se ha realizado en una localidad que no llega a los 7000 habitantes, de tal forma que no es obligatorio por normativa para la administración. Dada la no obligatoriedad de este mapa de ruido no se han realizado los planes de acción ni se ha elaborado la información que debe comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente (si bien ésta última viene desgranada casi en su totalidad en el cuerpo de este documento).

El desarrollo de un mapa estratégico de ruido es una tarea compleja que requiere numerosos recursos humanos, tecnológicos y temporales. Este proyecto ha sido realizado por una sola persona, de ahí que las dificultades hayan sido mayores que si se hubiera llevado a cabo por un grupo de trabajo. Por otra parte, el uso del software CadnaA ha estado limitado a lo largo de todo este proyecto por la disponibilidad de la empresa colaboradora. Esto ha repercutido en grandes tiempos muertos a lo largo del desarrollo del proyecto así como la imposibilidad de realizar nuevos modelos o correcciones sobre el modelo final presentado.

Otro de los puntos que se quiere destacar en este apartado es la utilidad del método de muestreo espacial utilizado. Si bien no hay ninguna normativa que obligue a utilizar un determinado método de muestreo, consideramos que el método utilizado en este proyecto no es el ideal cuando se va a realizar un método de cálculo (sí parece razonable para un método exclusivo de mediciones). Los puntos seleccionados mediante este método favorecen una mejor caracterización de las vías con mayor flujo de vehículos, mientras que las vías con poco tráfico están sometidas a una gran incertidumbre al ser éstas mucho más numerosas. Al menos consideramos que el método utilizado no es el ideal para una localidad de tamaño pequeño, más concretamente para Arroyo de la Luz. Por ejemplo, según el método de muestreo utilizado hemos seleccionado cinco (seis inicialmente) puntos de medida en la calle Carretera, que es la principal del pueblo, cuando consideramos que dos puntos de medida hubieran sido suficientes. Lo mismo ocurre con la única vía de Tipo 2, donde con una sola medición habiéramos tenido bastante para la caracterización de la misma. Estas medidas *sobrantes* podrían haber sido intercambiadas para caracterizar mejor otras vías de la localidad. Por otra parte, no utilizaríamos el criterio de aleatoriedad para seleccionar los puntos de muestreo, sino que realizaríamos un muestreo dirigido a partir de las observaciones in situ y del estudio de las interconexiones viarias.

Por otra parte, consideramos que existen diferencias notables entre la realización de un mapa estratégico de ruido para aglomeraciones y para localidades pequeñas. La principal diferencia, al menos en nuestro caso, ha sido la dificultad para la obtención de los parámetros de entrada necesarios para introducirlos en el modelo. Por ejemplo, únicamente hemos encontrado datos de intensidad media diaria (IMD) para dos vías de la localidad. No hemos podido obtener datos referentes a velocidades medias de vehículos en las distintas vías ni acceso a otros conteos manuales de tráfico de las distintas instituciones y administraciones a las que hemos consultado. No existen aforos automáticos en la localidad. Este tipo de datos sí suelen estar disponibles en cierta medida en las aglomeraciones.

Una característica que nos hubiera gustado implementar sería el estudio de otras fuentes de ruido, tales como aeroportuarias o ferroviarias, inexistentes en la localidad del presente estudio. Lo mismo ocurre con la altura de las edificaciones, ya que en Arroyo de la Luz solo existen edificaciones de hasta cuatro alturas.

Respecto a los resultados del mapa estratégico de ruido de Arroyo de la Luz, destacamos que los 65 dB se superan en horario diurno ( $L_d$ ) por un 3,2 % de la población y en horario vespertino ( $L_e$ ) por un 2,6 %. Los 55 dB se superan en horario nocturno ( $L_n$ ) por 3,6 % de la población. Según la normativa de la comunidad de Extremadura entre un 0,7 % ( $L_d$ ) y un 1,9 % ( $L_n$ ) de la población estaría afectada por niveles de ruido intolerables. Los centros docentes y sanitarios de la localidad también superan ligeramente los límites establecidos para zonas con predominio de uso sanitario y docente.

## 7. Conclusiones

A lo largo de este proyecto fin de carrera se ha conseguido cumplir satisfactoriamente tanto el objetivo principal como los objetivos específicos planteados inicialmente.

Se han presentado los principales conceptos necesarios para entender un mapa estratégico de ruido. También se ha introducido el marco legislativo regulador de los mapas de ruido a nivel europeo y estatal. A partir de éste, hemos pasado a describir los distintos indicadores de ruido utilizados en la elaboración y la presentación de resultados de dichos mapas, así como hemos descrito los requisitos mínimos del cartografiado, el equipo de medición y software utilizados en este proyecto.

Posteriormente se ha pasado a describir con detalle el desarrollo de un mapa estratégico de ruido. Para ello se ha comenzado explicando la planificación del proyecto detallando las distintas fases de desarrollo que lo conforman. La mayor parte del trabajo desarrollado se ha concentrado en la realización de las medidas de nivel de ruido y la modelización de los distintos elementos que componen el mapa de ruido. Consideramos que se ha conseguido un logro adicional en el presente trabajo consistente en haber mostrado paso a paso el desarrollo pormenorizado de los distintos pasos intermedios (adecuación de la cartografía, corrección de errores cartográficos, selección de puntos de muestreo, etc.) que la diferente normativa no establece claramente en sus artículos.

Los resultados del mapa estratégico de ruido indican que Arroyo de la Luz es una localidad en general poco ruidosa. Esto se corresponde con otros estudios previos realizados en localidades de tamaño similar en la provincia de Cáceres. Alrededor de un 90% de la población del municipio habita en un entorno poco ruidoso. Menos de un 3% habita en un entorno de ruido intolerable. Los lugares donde se superan los límites considerados para conseguir los objetivos de calidad acústica se corresponden con las principales vías de acceso a la localidad y a su centro urbano.

El mapa estratégico de ruido de Arroyo de la Luz ha constituido la realización de un estudio completo de ingeniería en un ámbito empresarial real en un campo de creciente interés, como es la acústica ambiental.

## 8. Líneas de investigación futuras

Dada la tipología de este proyecto fin de carrera, al tratarse más de un trabajo de campo que de una investigación teórica, se propone una ampliación o mejora de los resultados obtenidos en el mismo. A continuación, detallamos dichas propuestas:

- Realización de mediciones de 24 horas. Por imposibilidad técnica y de recursos humanos solo se pudo realizar muestreos de quince minutos de duración para las distintas medidas de campo. La colocación de estaciones de monitorización de ruido durante periodos de 24 horas en distintos puntos de medida permitiría obtener la situación acústica real para los distintos indicadores.
- Aumentar el número de puntos de muestreo. En este proyecto se ha realizado una asignación de vías a distintas categorías, según recomienda la guía de buenas prácticas. No obstante, la inclusión de nuevos puntos de medida permitiría mejorar la precisión del modelo.
- Aumentar el número de aforos manuales. Nuevos conteos de tráfico en distintas vías permitirían mejorar la precisión del modelo.
- Nuevo método de estimación de la población. Se propone estimar el número exacto de residentes en cada edificio según datos oficiales de la administración.
- Presentación de la superficie afectada. La presentación de la superficie expuesta a valores de  $L_{den}$  superiores a ciertos límites solo es necesaria según normativa para grandes ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos, el cuál no es nuestro caso. Sin embargo, este apartado complementaría la presentación de los restantes datos.

## 9. Presupuesto

Trabajo:	<b>Mapa de ruido de Arroyo de la Luz</b>
Cliente	<b>Ayuntamiento de Arroyo de la Luz</b>
Oferta:	

<b>Costes Unitarios:</b>	<b>COSTES</b>	<b>Deleg. Extremadura</b>
	Hora Técnico	
	Hora Especialista o Técnico noche	<b>54,50</b>
	Dietas con noche	<b>100,00</b>
	Dietas sin noche	<b>30,00</b>
	Coste/Km	<b>0,29</b>

Tareas	Subtareas	Deleg. Extremadura		Subtotal		P.V.P.	
		Horas	Dietas				
		Especialista	Km				
Previos	Estudio antecedentes	20	0	1090,00	7085,00	1211,11	7872,22
	Trámites datos	30	0	1635,00		1816,67	
	Recopilación Normativa	30	0	1635,00		1816,67	
	Análisis	50	0	2725,00		3027,78	
Ensayos	Reconocimiento terreno	20	0	1090,00	11088,79	1211,11	12320,88
	Mediciones	100	651	5638,79		6265,32	
	Mediciones 24 h	0	0	0,00		0,00	
	Procesado	40	0	2180,00		2422,22	
	Análisis	40	0	2180,00		2422,22	
Simulaciones	Recopilación datos	50	0	2725,00	14732,89	3027,78	16369,88
	Diseño y modelización	70	1941	4377,89		4864,32	
	Generación mapas	80	0	4360,00		4844,44	
	Análisis	60	0	3270,00		3633,33	
Memoria y presentaciones	Análisis global	40	0	2180,00	7085,00	2422,22	7872,22
	Redacción	60	0	3270,00		3633,33	
	Repaso y corrección	30	0	1635,00		1816,67	
	Presentación	0	0	0,00		0,00	
	Reunión evaluación	0	0	0,00		0,00	
<b>TOTALES</b>		<b>720</b>	<b>2592</b>	<b>39991,68</b>		<b>44435,20</b>	
<b>COSTES</b>		<b>39240</b>	<b>751,68</b>	<b>39991,68</b>		<b>44435,20</b>	

Compras y Subcontrataciones		Deleg. Extremadura						
	Unidades	Material SIN descuento		Material CON descuento				PVP
		Coste Unidad	Subtotal 1	Coste Unidad	Subtotal 2	Descuento	Subtotal 3	
EXPEDICIÓN CARTOGRÁFICA DIGITAL	6	20,11	120,66	0,00	0,00	0,00%	0,00	134,07
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
Vuelos	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
Impresión documentos	0	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00
Alquiler estación 24 h	0	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00

Coste dietas	751,68
Coste material SIN descuento	120,66
Coste material CON descuento	0,00
Coste horas	39.240,00
Beneficio - Descuento	4.456,93
Num. horas Especialista	720,00
Num. horas Técnico	0,00
<b>FACTURA TOTAL</b>	<b>44.569,27 €</b>

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de **CUARENTA Y CUATROMIL QUINIENTOS SESENTA Y NUEVE EUROS CON 27 CÉNTIMOS.**



## 10.Bibliografía

- Ausejo, M. (2009). *Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales. Disponible en:[http://oa.upm.es/2031/1/MIGUEL\\_AUSEJO\\_PRIETO\\_A.pdf](http://oa.upm.es/2031/1/MIGUEL_AUSEJO_PRIETO_A.pdf)
- Barrigón, J.M., Gómez, V., Méndez, J.A., Vílchez R., Vaquero, J.M. y Trujillo, J. (2005). A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 117, pp. 2844–2852.
- Barrigón, J.M., Gómez, V., Méndez, J.A. y Vílchez, R. (2002). Study of noise in a small Spanish town. *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 7, N. 4.
- Barrigón, J.M., Gómez, V., Trujillo, J., Méndez, J.A., Vílchez, R. y Carmona, F.J. (2011). Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics*, 72, pp. 760–771.
- Bonello, O., Gavinowich, D. y Ruffa, F. (2002). *Protocolo de mediciones para trazado de mapas de ruido normalizados*. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires.
- Decreto 19/1997, de 4 de febrero, de Reglamentación de Ruidos y Vibraciones. *Diario Oficial de Extremadura*, núm. 18, de 11 de febrero de 1997.
- Díaz, C., Díaz, F. y Pedrero, A. (2011). *Mapa estratégico de ruido de Leganés*. Madrid: Ayuntamiento de Leganés.
- Imagine workgroup (2011). *IMA32TR-040510-SPO8. Determination of Lden and Lnight using measurements*.
- INE (2012), *Padrón municipal: cifras oficiales de población*. Instituto Nacional de Estadística: Madrid.

- ISO 1996-2: 2007 (2007). *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*. International Organization for Standardization: Switzerland.
- ISO 9613-2: 1996 (1996). *Acoustic attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation*. International Organization for Standardization: Switzerland.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 276, de 18 de noviembre de 2003, páginas 40494 a 40505. OMS (1999). *Guidelines for Community Noise*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Ordenanza municipal de convivencia ciudadana de Arroyo de la Luz (2005). *Boletín Oficial de la Provincia de Cáceres*, núm. 130, de 8 de julio de 2005.
- Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 254, de 23 de octubre de 2007, páginas 42952 a 42973.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 301, de 17 de diciembre de 2005, páginas 41356 a 41363.
- UE (Unión Europea) (2002). Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L. 189. Luxemburgo.
- WG/AEN, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (2007). *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure* (version 2). Brussels, Belgium: Author.

## **11. Anexos**

**11.1. Anexo I: Ordenanza Municipal de Arroyo de la Luz (2005) en lo referente a perturbaciones por ruido y vibraciones.**

**CAPÍTULO IX-PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**Sección 2ª.- Perturbaciones por ruidos y vibraciones.**

**Artículo 158.-** La actuación municipal estará encaminada a conseguir que las perturbaciones por ruidos y vibraciones evitables no excedan de los límites que señalen en cada caso los planes o normas vigentes.

**Artículo 159.-** No se podrá producir ningún ruido o vibración evitable que trascienda al medio ambiente exterior que sobrepase los niveles sonoros o de vibración máximos permitidos por la normativa de la Comunidad Autónoma. Los responsables de su emisión deberán adoptar las pertinentes medidas correctoras para evitar que sobrepasen los límites permitidos.

La intervención municipal tenderá a conseguir que las perturbaciones por ruidos o vibraciones no excedan de los límites que se indican o se hacen referencia en la presente Ordenanza.

Los niveles de emisión de ruido en vehículos a motor, maquinaria, aparatos, equipos de música, etc. están expresados en nivel de presión sonora (SPL) en dB(A), los niveles de emisión al ambiente exterior y los de inmisión en nivel sonoro continuo equivalente (Leq) en dB(A), el aislamiento acústico en decibelios dB(A) y las vibraciones en aceleración (m/s<sup>2</sup>).

Los periodos de tiempo diurno señalados en ésta ordenanza están referidos al periodo comprendido entre las 07,00 y 22,00 horas mientras que el nocturno se refiere al periodo comprendido entre las 22,00 horas y las 07,00 horas.

**Artículo 160.-** Los ruidos, voces, músicas u otras fuentes sonoras de cualquier naturaleza, habrán de atenerse a las siguientes normas:

**1. En edificios destinados a viviendas o residencias dentro de casco urbano o zonas urbanizadas:**

- a) No deberán trascender a la vía pública ni a la comunidad vecinal, especialmente durante las horas de descanso nocturno o diurno, en condiciones de alterarlo. Mediante el oportuno Bando de Alcaldía se establecerá el horario que se entiende por "descanso nocturno y diurno (tradicional siesta)" teniendo en cuenta las circunstancias de época del año, actividades o sistema propio de vida de la zona y costumbres tradicionales.
- b) Las actividades artesanales en domicilios que excepcionalmente se realicen y puedan ocasionar molestias al vecindario, se autorizarán, en su caso, previo expediente sumario y con audiencia de los posibles afectados.
- c) La carga y descarga de mercancías, manipulación de cajas, contenedores, materiales de construcción y objetos similares, deberá realizarse de manera que el ruido producido no supere el nivel permitido en cada zona.

El personal de los vehículos de reparto deberá cargar y descargar las mercancías sin producir impactos directos sobre el suelo del vehículo o del pavimento, y evitará el ruido producido por el desplazamiento o trepidación de la carga durante el recorrido.

La carga, descarga y transporte de materiales de camiones deberá hacerse en determinados horarios, tiempo y rapidez, de manera que el ruido producido sea el mínimo y no resulte molesto.

## **2. En locales comerciales e industriales:**

- a) En locales de trabajo se estará a la efectividad de las medidas correctoras que sobre ruidos se hayan señalado o se señalen con arreglo a la legislación reguladora de las actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas y Decreto de la Junta de Extremadura 19/1997, de 4 de febrero, de Reglamentación de Ruidos y Vibraciones.
- b) En los locales de esparcimiento público o de recreo (bares, cafés, restaurantes, discotecas, salas de baile, cines, teatros, etc.), se adoptarán las medidas de insonorización precisas. No se permitirá en ningún caso la existencia de altavoces o dispositivos de reproducción sonora en la parte exterior de los locales.

Las actividades susceptibles de producir molestias por ruido deberán ejercer su actividad con las puertas y ventanas cerradas.

## **3. En lugares de uso público (calles, plazas, jardines, terrazas, etc.):**

- a) Precisaré la previa licencia municipal la organización de bailes, verbenas u otros actos similares.
- b) No podrá perturbarse el descanso y la tranquilidad de los vecinos con cánticos o altercados, ni proferir gritos o voces, o mediante el funcionamiento de elementos sonoros en tonos estridentes o volúmenes excesivos o molestos.

## **4. Ruidos procedentes de vehículos de motor:**

- a) Tanto en la vía pública como en el interior de edificios, debe impedirse que por uso de motores, bocinas u otros elementos sonoros, pueda alterarse la normal convivencia ciudadana, lo mismo durante el día que en horas nocturnas.
- b) Queda prohibido el uso de bocinas o señales acústicas dentro de los núcleos de población, salvo en los casos de inminente peligro de atropello o colisión, o que se trate de servicios de urgencia.
- c) La intensidad del ruido que exceda de los límites autorizados por las vigentes normas de tráfico, y el continuado funcionamiento de motor innecesaria o intencionalmente, así como la utilización de los medios acústicos habituales de los vehículos en zonas urbanas, darán lugar a la correspondiente sanción.
- d) Se prohíbe la circulación de vehículos a motor con el llamado “escape libre”, o con silenciadores no eficaces, incompletos, inadecuados, deteriorados o con tubos resonadores.
- e) Todo vehículo de tracción mecánica deberá tener en buenas condiciones de funcionamiento el motor, la transmisión, carrocería y demás componentes del

mismo capaces de producir ruidos y vibraciones, y especialmente el dispositivo silenciador de los gases de escape, con el fin de que el nivel de ruido emitido por el vehículo al circular o con el motor en marcha, no exceda de los límites que establece la presente Ordenanza.

- f) En los casos que se afecte notoriamente a la tranquilidad de la población, se podrá señalar zonas o vías en las que algunas clases de vehículos a motor no puedan circular a determinadas horas. Se prohíbe producir ruidos innecesarios debidos a un mal uso o conducción violenta del vehículo, aunque esté dentro de los límites máximos admisibles.

## **5. Otras actividades:**

- a) Con carácter general, se prohíbe el empleo de todo dispositivo sonoro con fines de propaganda, reclamo, aviso, distracción y análogos, cuyos niveles excedan de los señalados en la normativa vigente. En todo caso, deberán contar con la preceptiva licencia municipal de funcionamiento.
- b) Los receptores de radio y televisión y, en general todos los aparatos reproductores de sonido, tanto en domicilios particulares como en establecimientos de cualquier naturaleza, se instalarán y regularán de tal manera que el nivel sonoro transmitido a las viviendas, locales colindantes o al exterior; no exceda del valor establecido en el Decreto de la Junta de Extremadura 19/1997, de 4 de febrero, de Reglamentación de Ruidos y Vibraciones.

- c) La tenencia de perros y otros animales domésticos que por sus ladridos continuados u otros sonidos perturben el normal descanso de los ciudadanos será corregida mediante la imposición de la sanción que corresponda.

La tenencia de animales domésticos obliga a la adopción de las precauciones necesarias para evitar molestias al vecindario.

A este efecto, los poseedores de los perros que habiten en zonas urbanas, residenciales o de manifiesta densidad de población, serán responsables y, en consecuencia, deberán impedir; mediante el sometimiento de sus animales a un adecuado aprendizaje, el que emitan ladridos o aullidos que puedan coadyuvar al incremento de la contaminación sonora ambiental.

Para ello se prohíbe desde las diez de la noche hasta las siete de la mañana dejar en patios, terrazas, galerías y balcones, aves y animales en general, que con sus sonidos, gritos o cantos disturben el descanso o tranquilidad de los vecinos. Igualmente, en las otras horas deberán ser retirados por sus propietarios o encargados, cuando de manera evidente ocasionen molestias a los ocupantes del edificio o edificios vecinos.

- d) Se prohíbe el trabajo nocturno en obras a partir de las 22 horas en los establecimientos ubicados en edificios de viviendas o colindantes con ellas cuando el nivel sonoro transmitido a aquellas exceda los niveles nocturnos señalados en la legislación vigente.

Se exceptúa de la prohibición de trabajar en horas nocturnas, las obras urgentes por razones de necesidad o peligro, o aquellas que por sus inconvenientes no pueden realizarse durante el día. El trabajo nocturno deberá ser autorizado expresamente por la Autoridad Municipal, que determinará los niveles de ruido máximos que deberá cumplir.

- e) Cualquier otra actividad o comportamiento singular o colectivo no comprendido en los anteriores apartados, que conlleve una perturbación por ruidos, sonidos o vibraciones para el vecindario, que sea evitable con la observancia de una

conducta cívica normal, se entenderán incursos en el régimen sancionador de estas Ordenanzas.

**Artículo 161.-** Es competencia municipal la comprobación de cuantas alteraciones puedan producirse en la comunidad por ruidos de todo orden, y la subsiguiente sanción cuando se infrinjan estas normas, sin perjuicio de las facultades sancionadoras establecidas en las demás leyes especiales que regulen la materia.

Como medida aneja al procedimiento sancionador y en caso de hacer caso omiso a las advertencias de los Agentes de la Policía Local, la Alcaldía podrá ordenar el precinto cautelar de las máquinas, herramientas, aparatos, vehículos, etc. originadores de los ruidos o vibraciones, que se mantendrán hasta en tanto un técnico competente en la materia certifique la adopción y efectividad de las medidas correctoras adoptadas.



## **11.2. Anexo II: Requisitos mínimos de los planes de acción (Anexo V del Real Decreto 1513/2005)**

1. Los planes de acción incluirán, como mínimo, los elementos siguientes:

Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.

Autoridad responsable.

Contexto jurídico.

Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.

Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.

Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar.

Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.

Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.

Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas.

Estrategia a largo plazo.

Información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios.

Disposiciones previstas para evaluar la aplicación y los resultados del plan de acción.

2. Algunas medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias son, por ejemplo, las siguientes:

Regulación del tráfico.

Ordenación del territorio.

Aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras.

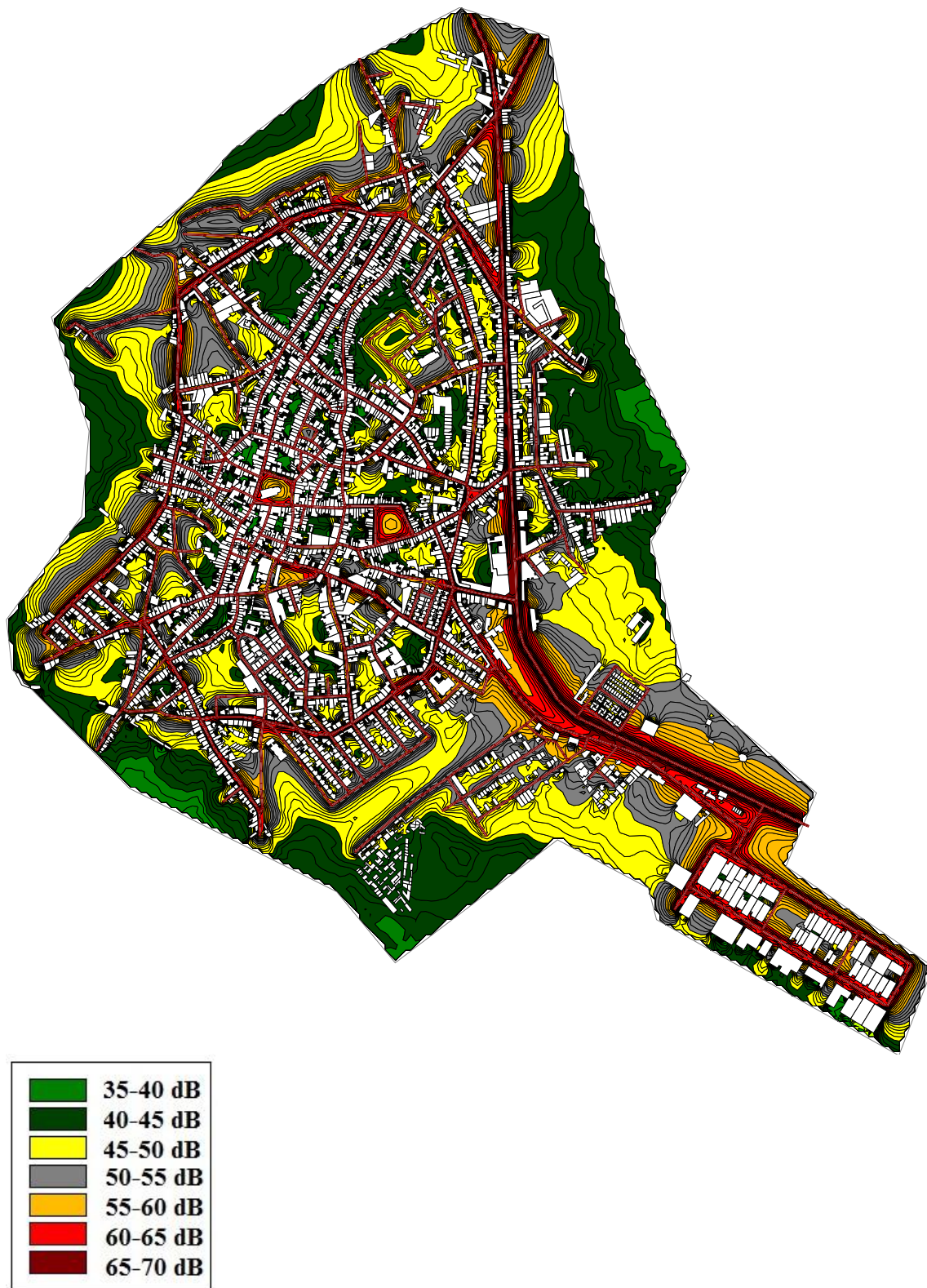
Selección de fuentes más silenciosas.

Reducción de la transmisión de sonido.

Medidas o incentivos reglamentarios o económicos.

3. Los planes de acción recogerán estimaciones por lo que se refiere a la reducción del número de personas afectadas (que sufren molestias o alteraciones del sueño).

### 11.3. Anexo III: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE $L_D$ .

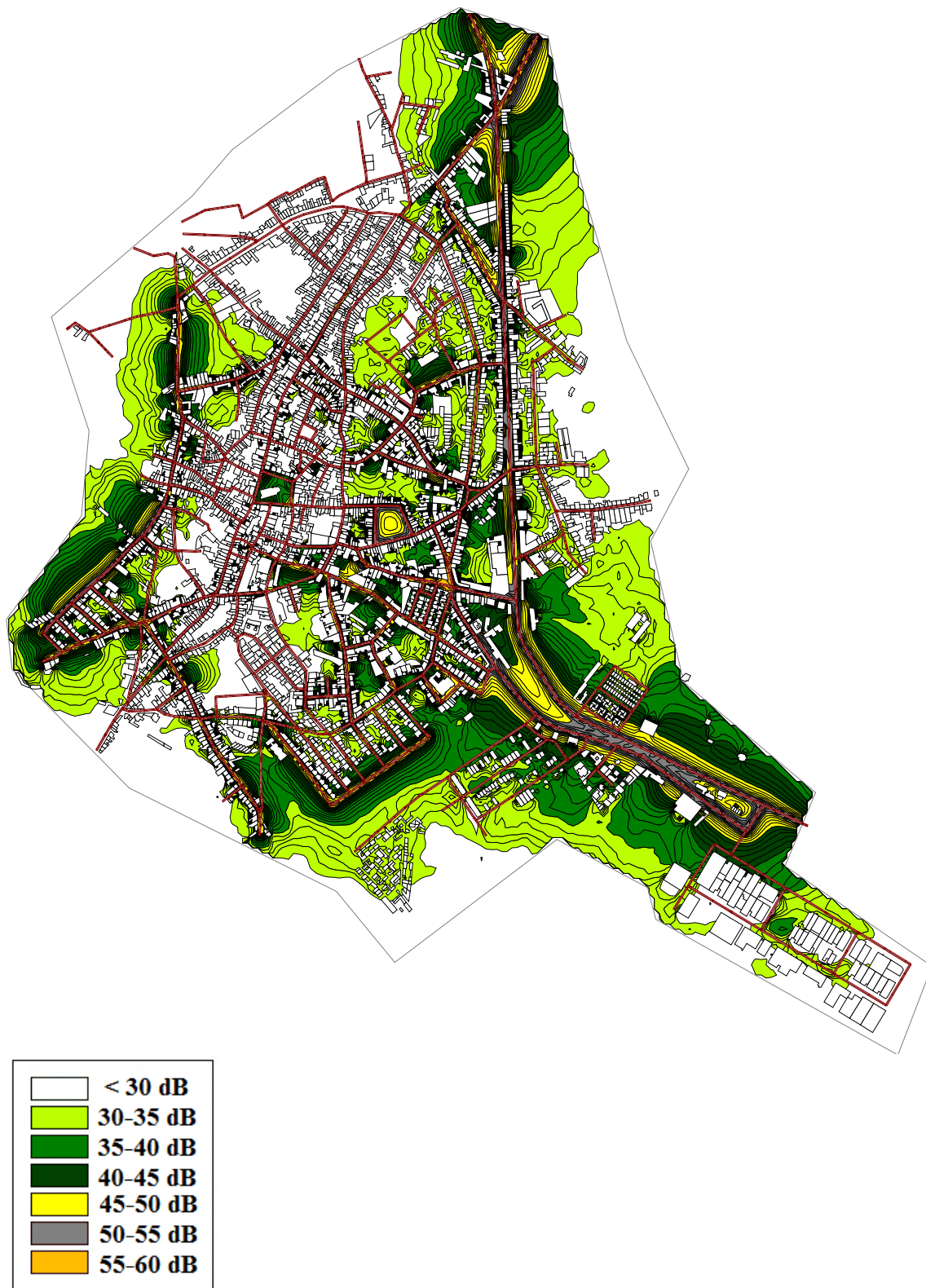


#### 11.4. Anexo IV: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE $L_E$ .





### 11.5. Anexo V: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE $L_N$ .



11.6. Anexo VI: MAPA DE RUIDO TOTAL: ÍNDICE  $L_{DEN}$ .

